



Министерство образования и науки Украины
Национальная академия наук Украины

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»



Физико-технологический институт
металлов и сплавов НАН Украины

Национальная металлургическая академия Украины



Ассоциация литейщиков Украины



Одесский национальный политехнический университет

Белорусский национальный технический университет



Магдебургский университет им. Отто-фон-Герике

AGN University of Science and Technology A. Mickiewicza



Запорожская торгово-промышленная палата

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ЛИТЬЕ 2016**

**V МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ 2016**

**ПРОГРАММА
24 – 26 мая 2016 ГОДА**



УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

2016

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

Литье. Металлургия. 2016: Материалы XII Международной научно-практической конференции (24-26 мая 2016 г., г. Запорожье) / Под общ. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.И. – Запорожье, ЗТПП. – 450 стр.

В сборнике представлены материалы, касающиеся актуальных проблем литейного и металлургического производства: получения, обработки и структурообразования сплавов; прогрессивные технологии и оборудование в литейном производстве; перспективные формовочные материалы и смеси, технологические процессы изготовления форм и стержней; моделирование, компьютерные и информационные технологии в литейном производстве; специальные способы литья и литье композиционных материалов; методы контроля литейных и металлургических процессов, экономика и экология литейного производства.

Материалы предназначены для инженерно-технических работников металлургических и машиностроительных предприятий и научно-исследовательских институтов, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Печатается по решению Ученого совета Национального технического университета «Харьковского политехнического института», протокол № 4 от 29.04.2016

За достоверность информации, изложенной в материалах конференции, несут ответственность их авторы.

Редакторы: Т.В. Берлизова, С.В. Гнилокурченко, Стоянов А.Н.

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

© Запорожская торгово-промышленная палата»

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Марченко А.П. – д.т.н, проф. председатель конференции, проректор по научной работе Национального технического университета "ХПИ", Харьков;

Акимов О.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Национального технического университета "ХПИ", Харьков;

Белов В.Д. – д.т.н., проф., зав. каф. Национального исследовательского технологического университета Московского государственного институту стали и сплавов (НИТУ МИСиС), Москва;

Бойченко Б.М. – д.т.н., проф., зав. каф. Национальной металлургической академии наук, Днепрпетровск;

Бубликов В.Б. – д.т.н., ст.н. сотр., зав. отдел. Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии Украины, Киев;

Бурбелко А. – проф. AGH University of Science and Technology A. Mickiewicza, Краков;

Величко А. Г. – д.т.н., проф., академик НАН Украины, ректор Национальной металлургической академии наук Украины, Днепрпетровск;

Гнилоскуренко С.В. – заведующий отделом ФТИМС НАН Украины, ученый секретарь Ассоциации литейщиков Украины, к.т.н., Киев

Губин Г.В. – заведующий каф. рудотермических процессов литейного производства Криворожского национального университета, Кривой Рог;

Жидков А.Б. – д.т.н., проф., зав. каф. Восточноевропейского национального университета им. В. Даля, г. Северодонецк;

Дурягина З.А. – д.т.н., проф., зав. каф. Национального университета "Львівська політехніка", Львов

Предраг Дашич – professor of Production Engineering and Computer Science High Technical Mechanical School of Trstenik, Vrnjcka Banja, Serbia;

Дибров И.А. – д.т.н., проф., президент Российской ассоциации литейщиков, зам. генерального директора ОАО НИИЛитМаш;

Дубоделов В.І. – академик, заведующий отделом Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии Украины, д.т.н., проф., г. Киев;

Затуловский А.С. – д.т.н., ст.н. сотр., зав. отдел. Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии Украины, Киев;

Клименко С.И. – директор департамента литейного производства Министерства экономического развития и торговли Украины; Киев;

Коротченко А.Ю. – к.т.н., доц. зав. каф. Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Кочешков А.С. – к.т.н., зав. каф. Национального технического университета Украины «КПИ», Киев;

Лунев В.В. – д.т.н., проф., директор института, зав. каф. Запорожского государственного технического университета, Запорожье;

Милко Миланов – председатель союза литейщиков Болгарии, директор фирмы «Институт Литья и литейные технологии», София, Болгария;

Лысенко Т.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Одесского национального политехнического университета, Одесса;

Могилатенко В.Г. – д.т.н., проф., зам. председателя учебно-методической комиссии МОН Украины, Киев;

Немененок Б.М. – д.т.н., проф., зав. каф. Белорусского национального технического университета, Минск;

Пономаренко О.И. – д.т.н., проф. Национальный технический университет «ХПИ», вице-президент Ассоциации литейщиков Украины, Харьков;

Пройдак Ю.С. – д.т.н., проф., проректор по научной работе Национальной металлургической академии наук, Днепропетровск;

Протопопов Е.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Сибирского государственного университета, директор института металлургии и материаловедения, действительный член РАЕН, Новокузнецк;

Рюдигер Бер – д.т.н., проф., зав. каф. литья и обработки металлов давлением Магдебургского университета им. Отто-фон-Гюрике, Магдебург;

Кропивный В.Н. – д.т.н., проф., зав. каф. Кировоградского национального технического университета, г. Кировоград;

Сигарев Е.Н. – д.т.н., проф., зав. каф. Днепродзержинского государственного технического университета, г. Днепродзержинск;

Сокол Е.И. – д.т.н., проф., ректор Национального технического университета "ХПИ", Харьков;

Ткач В.В. – проф., зам. директора Криворожского металлургического института ГВУЗ, Кривой Рог;

Тарасюк Л.И. – к.т.н., доц., зав. каф. Приазовского государственного технического университета, Мариуполь;

Турчанин М.А. – д.т.н., проф., зав. каф. Донбаской государственной машиностроительной академии, Краматорск;

Фесенко А.Н. – к.т.н., доц., первый проректор Донбаской государственной машиностроительной академии, Краматорск

Хричиков В.Е. – д.т.н., проф., зав. каф. Национальной металлургической академии Украины, г. Днепропетровск;

Шинский О.И. – д.т.н., проф., зам. директора Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины, Президент Ассоциации литейщиков Украины, Киев;

Эффенберг Гюнтер – доктор MSI (Material Science International), г. Штутгарт.

СОДЕРЖАНИЕ

1. М. П. Аксененко, О. В. Акимов. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА
2. Ю.М. Алексеєва, К.О. Костик. ОСОБЛИВОСТІ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ
3. С.Ю. Афонін. ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ФОРМИ ГРАФІНТИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ЧАВУНІ
4. С. Ю. Афонін. ФРАКТАЛЬНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ КУЛЯСТОГО ГРАФІТУ
5. Є. Г. Афтанділянц, К. Г. Лопатько, А.А. Щерецький. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ АЛЮМІНІЄВИХ НАНОЧАСТИНОК
6. Е. Г. Афтанділянц, В. П. Лихошва, О. А. Пеликан, Л. М. Клименко. ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК
7. Ахмед Сундус Мохаммед, О. В. Акимов. ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ
8. С. С. Баус. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА
9. М. С. Баус. ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
10. Ю. Д. Бачинський, В. Б. Бубликов, С. Н. Медведь. ВЗАЄМОДІЯ МОДИФІКУЮЧИХ СПЛАВІВ З ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИМИ РОЗПЛАВАМИ СИСТЕМИ Fe-C-Si
11. А.П. Белый ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА
12. Т.В. Берлизева, О.И. Пономаренко, А.М. Каратеев. МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОМ СТЕКЛЕ С ФУРФУРИЛОКСИПРОПИЛЦИКЛОКАРБОНАТАМИ
13. Д. Н. Берчук, В. Б. Бубликов, Л. А. Зеленая, В. А. Овсянников, Е. Н. Берчук. ВЛИЯНИЕ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

14. В. С. БОГУШЕВСЬКИЙ. КЕРУЮЧИЙ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС МАШИНИ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

15. В.Н. Бондаревский, В.Д. Бабюк, Е.В. Жидков. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ВВОДА ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПЕРЕДЕЛЕ НА СТРУКТУРУ АУСТЕНИТНЫХ ЧУГУНОВ С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

16. В.Н.Бондаревский, А.В.Наривский, К.В.Гаврилюк, В.Д.Бабюк, Е.В.Жидков. ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАСТЕР-СПЛАВА В ШИХТЕ НА СТРУКТУРУ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК19М1

17. Г. П. Борисов, А. М. Недужий, А. Г. Вернидуб. ТИКСОЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7ч З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАГОТІВОК З РІЗНОЮ ВИХІДНОЮ СТРУКТУРОЮ ПЕРВИННОЇ ФАЗИ

18. В. Б. Бубликов. ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ В ПЕРЕДКРИСТАЛІЗАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ВИЛИВКІВ ІЗ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

19. В. Б. Бубликов. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

20. В. Б. Бубликов, Е. П. Нестерук. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ПРОТОЧНЫХ РЕАКТОРАХ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

21. А. А. Бурбелко, Т. Виктор, М. Карбовничек. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ РАЗЛИВКИ МНЛЗ

22. М. М. Ворон, Е. А. Дрозд, Т. В. Лапшук. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ Grade5 и Timet-10-2-3 ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ВЫПЛАВКИ

23. С.В. Гнилокурченко. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

24. С.И. Губенко, В.Н. Беспалько, Ю.И. Балева, НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТОЙ СТАЛИ 40X25H20C2

25. В. С. Дорошенко. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЕГКОВЕСНЫХ ОТЛИВОК НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИХ МОДЕЛЕЙ С ДВУМЯ ТЕКУЧИМИ СРЕДАМИ: МЕТАЛЛОМ И ПЕСКОМ

26. В. С. Дорошенко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ЯВЛЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ТВЕРДЕЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ЛЕДЯНЫХ МОДЕЛЕЙ

27. В. С. Дорошенко. ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ЛИТЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ПО МЕТОДУ СЕРИЙНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СКУЛЬПТУР

28. В. С. Дорошенко, Ю. Г. Квасницкая. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВЫЖИГАНИЮ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНОЙ МОДЕЛИ В ВАКУУМИРУЕМОЙ ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ

29. В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко. КОНЦЕПЦИЯ ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ФОРМ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

30. В. С. Дорошенко, В. Ф. Смолянская. ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ЛИТЫМ СИЛОВЫМ КАРТЕРОМ В СВЕТЕ ТЕНДЕНЦИИ МЕТАЛЛОСБЕРЕЖЕНИЯ

31. В. С. Дорошенко, И. О. Шинский. ЗАЛИВКА С ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЗЕРКАЛА МЕТАЛЛА ПРИ ЛИТЬЕ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

32. В. С. Дорошенко, О. А. Яковышин. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО РАЗОВЫМ МОДЕЛЯМ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

33. Ю.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, Н.В. Доценко. ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ДАВЛЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Si

34. В.П. Доценко, М.П.Тур, Д.С. Васильев. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ, КАК АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

35. В. И. Дубоделов, А. Н. Смирнов, М. С. Горюк, В. К. Погорский, Ю.П. Скоробагатько, А.Ю. Кизилова, А.П. Верзилов, Ю.Ю. Кулиш. МГД-УПРАВЛЕНИЕ ТЕЧЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ В ЛИТЕЙНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

36. В. И. Дубоделов, Ю. М. Гориславец, В. Н. Фиксен, А. И. Глухенький, А. И. Бондар. УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ И ТЕПЛОВЫМ СОСТОЯНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО И БЕГУЩЕГО МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

37. В. И. Дубоделов, Б. А. Кириевский, В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк. МГД-ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ

ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
ТОКОСЪЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

38. Н.С. Евтушенко, О.И. Пономаренко, Л.Н. Чунихина ЭКОЛОГИЯ
ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

39. А.П.Еременко, Н.К. Сигарев, Я. А. Сорока, Д.О. Плакущий, В.В.Козина.
МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНЕВЫХ ОТЛИВОК ПОРОШКОВОЙ
СМЕСЬЮ

40. О. М. Жбанова, В. В. Ткач. ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДІЇ В ПРОЦЕСІ
КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 110Г13Л

41. Н. А. Жижкина. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ
РАБОЧЕГО СЛОЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ВАЛКОВ

42. Н. И. Замятин, С. А. Замятин. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ
ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЛИТЕЙНЫХ
ФОРМ НА КРИТИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ ОБРАЗОВАНИЯ УЖИМИН

43. А.С. Затуловский, В.А. Лакеев, Е.А., В.А. Щерецкий. ВЛИЯНИЕ
АРМИРОВАНИЯ БРОНЗОВОЙ СТРУЖКОЙ НА СВОЙСТВА
АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

44. А.С. Затуловский, В.А. Щерецкий. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ Fe-Cu НА ОСНОВЕ
МЕДНЫХ СПЛАВОВ

45. Б. Г. Зеленый. ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТАЛОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ
ТЕМПЕРАТУРАХ

46. В.Г. Иванов, В.П. Пірожкова, В.В. Луньов.
МІКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНИЙ ТА ПЕТРОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ВКРАПЛЕНЬ
ГРАФІТУ У ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНАХ

47. А. В. Иванов, Н.А. Федченко. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА
КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ

48. Л. Х. Иванова, А. Ю. Калашникова, Ю.О. Юрченко.
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ

49. Идан Алаа Фадил, О.В. Акимов. ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ
СТАЛЕЙ

50. А. Ю. Калашникова А.Ю., Л. Х. Иванова. МОДИФИЦИРОВАННЫЕ
ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ

51. В. Т. Калинин. ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО СЛОЯ ОТЛИВОК ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

52. Д. С. Каніболоцький , А. М. Верховлюк, О. А. Щерецький, Г. А. Верховлюк. МОЛЕКУЛЯРНА ДИНАМІКА РОЗПЛАВУ AL – 0,2 % TI

53. В.В. Карпов, В.Ю. Карпов, С.И.Губенко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕДНЫХ ГАЗАРОВ В КАЧЕСТВЕ МИКРОТЕПЛОВЫХ ТРУБ

54. Н. В. Кирьякова, Е. А. Ясинская УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ, ЛЕГИРОВАННАЯ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА

55. В.А. Клименко, О.І. Шейко, Т.О. Левицька. ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ПОРИСТОСТІ ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІЗ НАПОВНЮВАЧЕМ ДВОКОМПОНЕНТНОГО ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ.

56. О.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ

57. О.С.Комаров, Б.М. Немененок, Т.Д. Комарова, Е.В.Розенберг. ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНАТАНАТРИЯ В СОСТАВЕ КРАСОК НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК

58. О.С.Комаров, Б.М. Немененок, Т.Д. Комарова, Е.В.Розенберг. Противопригарные литейные краски с алюминатомнатрия

59. С.Є. Кондратюк, О.М. Стоянова, Ж.В. Пархомчук. ВИКОРИСТАННЯ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ З ПІДГОТОВЛЕНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛЕЙ

60. С.В. Конончук, В.В. Пукалов, О.В. Скрипник. ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ

61. А. В. Косинская, В. А. Середенко, Е. В. Середенко, Ж. Д. Богатырёва. СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ Al МОДИФИЦИРОВАННОГО Ti и Zr, ЗАЛИТОГО В КОКИЛЬ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

62. К.О. Костик, В.О. Костик. АЗОТУВАННЯ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ У ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

63. К.О. Костик, В.О. Костик. АЗОТУВАННЯ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ У ПЛАЗМІ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ

64. М. В. Кошелев, А. Г. Пригунова. ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДОМ СВС

65. В. П. Кравченко, Е. В. Кравченко. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

66. С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук, Н.И. Левицкий, Е. А. Дрозд. ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ГАРНИСАЖНОЙ ПЛАВКИ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

67. В.А. Лакеев, А.С. Затуловский. ЛИТЫЕ КОМПОЗИТЫ С МАТРИЦЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, АРМИРОВАННЫХ ПРОДУКТАМИ РЕЦИКЛИНГА КМ ЛАТУНЬ – СТАЛЬНАЯ ДРОБЬ

68. Т.В. Лисенко, В.О. Шинський, К. В. Волянська. ПІНОПОЛІСТИРОЛОВІ МОДЕЛІ З ІМПЛАНТАМИ ДЛЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

69. В. А. Локтионов-Ремизовский, И. В. Олексенко, В. Г. Новицкий. СТРУКТУРА И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТЫХ СПЛАВОВ (СЧ + CuS)

70. Т. В. Лысенко, К. А. Крейцер, В. Ю. Могетыч. СЕТОЧНЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ МАГНИЕВОГО СПЛАВА ОТ ВОЗГОРАНИЯ

71. Т.В. Лысенко, О.И. Шинский, Л.И. Солоненко, К. В. Волянская. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ХОЛОДИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАМОРОЖИВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

72. Р.В. Лютый, Д.В. Кеуш. СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ С ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ И АЛЮМОСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

73. В. Ф. Мазорчук, Р. В. Усенко, И. Ю. Наумова, С. И. Репях. НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТЛИВКИ И ПОЛОГО КЕРАМИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ

74. И. И. Максютя, Ю. Г. Квасницкая, А. М. Верховлюк . ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К КОРРОЗИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ГАЗО-СОЛЕВОМ ПОТОКЕ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

75. И.И. Максютя, Е.В. Михнян, А.В. Нейма, О.А. Тихонова. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ РАСТВОРЯЕМЫХ ППС-МОДЕЛЕЙ

76. В.А. Мамишев, О.И. Шинский, Л.А. Соколовская. ПУТИ УСКОРЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ

77. Е.В. Меняйло. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗОН ОТЛИВОК ИЗ Fe-C СПЛАВОВ ШАРОВОЙ, ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И ПЛОСКОЙ ФОРМЫ

78. А.О. Михайлова, К.О. Костик. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНІВ НА ПІСКОДУВНИХ АВТОМАТАХ

79. А.М. Михайловская, О.В. Гнатенко, В.В. Наумик ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ЖС32-ВИ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

80. И.А. Небожак. ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫМ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОМ FeCr, ИМПЛАНТИРОВАННЫМ В ГАЗИФИЦИРУЕМУЮ МОДЕЛЬ, НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АК12

81. Б.М. Немененок, А.С. Панасюгин, Д.П. Михалап .ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ВО ВЛАЖНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ШЛАКАМИ

82. Б.М. Немененок, Л.В. Трибушевский, Г.А. Румянцева, И.А. Горбель. БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

83. В. Г. Новицкий. ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ ЛИТЫХ СПЛАВОВ Fe Cr Cu C И ИХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

84. Г.А. Оборский, И.В. Прокопович, М.М. Костина, М.А. Духанина. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ МЕДНОЙ КАТАНКИ

85. С.Л. Поливода, М.О. Поливода, А.В. Серый. МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ВАКУУМНЫХ МГД-УСТАНОВКАХ

86. О.И. Пономаренко, Т.В. Берлизева, А.А. Радченко, А.В. Йовбак. УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ СЛЦ ХТЗ

87. О.И. Пономаренко, Д.В. Мариненко, И.А. Гримзин, Ю.Б. Витязев. ПОЛУЧЕНИЕ КОРПУСНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК В ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ

88. О.И. Пономаренко, М.А. Ступарь, Д.В. Мариненко. ОСНАСТКИ В УСЛОВИЯХ ПОЛТАВСКОГО ТУРБОМЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА

89. С.В. Порохня. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОГИДРООЧИСТКИ НА ОЧИСТКУ ЛИТЬЯ И РАЗРУШЕНИЕ СМЕСИ

90. А.Г. Пригунова, С.С. Петров. ОЦЕНКА РАЗМЕРА КЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ В РАСПЛАВАХ СИЛУМИНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕДИМЕНТАЦИИ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

91. И.В. Рафальский. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

92. С.И. Репях, М.О. Матвеева, Б.В. Климович, А.В. Кисенко. ПРОЧНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОГО ЧУГУНА

93. Ю.А. Свинороев. ОБ УТОЧНЕНИИ ТОЛКОВАНИЯ ПОНЯТИЯ: «СОВРЕМЕННЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ»

94. Ю.А. Свинороев, Р. Бэр, Ю.И. Гутько. АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

95. В. Ю. Селівьорстов, Т. В. Селівьорстова, Ю. В. Доценко. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИКА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА РОЗПЛАВ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

96. Р. А. Сергієнко, А. М. Верховлюк, Г. А. Гранкін, С. О. Лапшин, А. В. Поліщук. ОТРИМАННЯ НАНОЧАСТОК КАРБІДІВ ВОЛЬФРАМУ ТА ТИТАНУ ПЛАЗМОВИМ РОЗРЯДОМ

97. В. А. Середенко, Е. В. Середенко. ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРЫ СЛИТКОВ ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

98. В. А. Середенко, Е. В. Середенко, С. Г. Голубчик. СТРУКТУРА ЗАТВЕРДЕВШЕГО В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ГРАФИТОВОМ КОКИЛЕ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА И ЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ, ЭМУЛЬГИРОВАННОГО В РАСПЛАВЕ МЕДИ

99. В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк. СТРУКТУРА “ЗАМОРОЖЕННОЙ МИКРОЭМУЛЬСИИ” МЕДНОГО СПЛАВА С МАЛЫМ СОДЕРЖАНИЕМ FeCrC, ВЫПЛАВЛЕННОГО В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

100. Н.К. Сигарев, А.П. Еременко, Я. А. Сорока, Д.Д. Кравец. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ФИЛЬТРА, ВЫПОЛНЕННОГО ИЗ РАФИНИРУЮЩЕГО И ЛЕГИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

101. І. Е. Скідін, Л. Н. Саїтгареев. ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НАПЛАВКОЮ ПРИ ТВЕРДОПЛАМЕННОМУ ГОРІННІ ЛЕГОВАНИХ ПОРОШКІВ

102. Е.Л. Скуйбеда. ПОРОШКОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ДОЭВТЕКТИЧЕСКИХ ВТОРИЧНЫХ СИЛУМИНОВ

103. Л.А. Соколовская, О.И. Шинский, В.А. Мамишев. ОБ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ И ОТЛИВОК

104. С. А. Стороженко, А. І. Кобзева, Т. І. Стороженко. ХОЛОДНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВДУВАННЯ МАГНІЮ В ЧАВУН

105. Е. В. Суховая, Н.С.Лябах, Н. А. Здоровец. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ЛИТЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА Fe–В–С

106. Т. Л. Тринева. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ОТЛИВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИХ МАССЫ

107. Р. В. Усенко, В. Ф. Мазорчук, С. И. Репях. ПРОЧНОСТЬ СПЕКАЮЩЕГОСЯ ОПОРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ КВАРЦЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

108. М.А. Фесенко, И.В. Лукьяненко, А.Н. Фесенко, В.А. Косячков, Е.В. Фесенко СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

109. В. Н. Фикссен, В. И. Дубоделов. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЛИТЕЙНЫХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

110. А. Ю. Хитько, Л. А. Шапран, Л. Х.Иванова. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ БАНДАЖИРОВАННЫХ РОЛИКОВ МНЛЗ

111. В.Е. Хрычиков. КОМБИНИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ-ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ОБОГРЕВ ПРИБЫЛИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

112. С. С. Череповский, А. В. Иванов, В.Н. Цуркин. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧАСТОТЫ ПОСЫЛКИ ИМПУЛЬСОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОТЛИВКИ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВОВ

113. М.В. Чечель. ВИКОРИСТАННЯ ГАРЯЧОГО ІЗОСТАТИЧНОГО ПРЕСУВАННЯ ДЛЯ УСУНЕННЯ ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ

114. О.А. Чибичик, О.В. Акимов. ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПЛАВКИ НА СВОЙСТВА ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГОСЯ ДЛЯ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

115. В. Ю. Шейгам, В. М. Дука, А. Г. Борисов, А. Г. Вернидуб. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗЕРНА ОТЛИВКИ В ФОРМЕ С НИЗКИМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

116. В.О. Шинский. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

117. В.О. Шинский. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЕЙНЫХ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ

118. В.О. Шинский. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЦИКЛ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

119. И.О. Шинский, С.И. Клименко, В.А. Маляр. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВОГО РЕЖИМА В ФОРМЕ С ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫМИ МОДЕЛЯМ, НАПОЛНЕННЫХ ГРАФИТОВОЙ ФАЗОЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ АРМИРОВАННЫХ ОТЛИВОК

120. И.О. Шинский, В.А. Маляр. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ МАТРИЧНЫХ СПЛАВОВ В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ, ОБРАЗОВАННОМ АРМИРУЮЩЕЙ ФАЗОЙ ГРАФИТА ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ЛИТЬЕ

121. О. И. Шинский, И. А Шалевская. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

122. М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров ВПЛИВ ВУГЛЕЦЮ, ТИТАНУ ТА РЗМ НА ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ

123. А. А. Ясинский, В. Б. Бубликов, Б. Г. Зеленый, Ю. Д. Бачинский, Л. А. Зеленая, Е. А. Ясинская. ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ И МАРГАНЦА НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА МОДИФИЦИРОВАННОГО В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

124. А. А. Ясинский, Б. Г. Зеленый, В. Б. Бубликов, Л. А. Зеленая
ВЛИЯНИЕ ПРЕДМОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ РАСПЛАВА НА
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

125. В.В. Ясюков, А.В. Буланова. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ
КЕРАМИЗАЦИИ РАЗОВЫХ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ

126. В. В. Ясюков, К. В. Волянская. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ
СКОРОСТЬ ДИФФУЗИИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ОТЛИВОК

127. В.В. Ясюков, Я. М. Рудницкий. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВОК С ЛИТЫМИ ОБОЛОЧКАМИ

М. П. Аксененко, О. В. Акимов
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА

На сегодняшний день в условиях производства узлов и агрегатов для автотракторной промышленности существует тенденция к сокращению сроков проектирования новых узлов и деталей при повышении требований к прочностной надежности, что приводит к постоянному усовершенствованию конструкции и технологии производства отдельных деталей.

Современное состояние вопроса о проектировании деталей и САПР технологической подготовки производства на одном из определяющих этапах производства деталей, – изготовления отливок коробок передач, - не позволяет говорить об эффективном управлении качеством. Причина этого – не изученность многих процессов, протекающих в процессе формирования отливки, и определяющих, в конечном счете, реальную, а не теоретически спроектированную конструкцию детали. Поэтому актуальной представляется проблема разработки методологии проектирования литых деталей и их узлов с использованием компьютерно-интегрированных систем и технологий.

Большинство литых деталей коробок передач транспортного и специального назначения изготавливается способом литья, при проектировании которого в основу должны быть заложены технологические аспекты изготовления, а также возможные различные литейные дефекты. Данные дефекты возникают из-за отсутствия методов и инструментария оказания влияния на технологические режимы производства.

Основной частью рассматриваемой ГОМТ является картер входной, от качества которого будут зависеть требуемые характеристики, заложенные на стадии проектирования. Требования к качеству и надежности литых деталей закладываются и выполняются, согласно техническим условиям, на стадии производства при использовании методик определения технологических дефектов.

Получение качественного картера на этапе литья состоит из двух основных процессов: заливки расплавленного сплава в форму и формирования литой детали в процессе фазового перехода при охлаждении и кристаллизации.

Анализ качества литого картера выполнен с применением универсальной технологии комплексного компьютерно-интегрированного проектирования литых деталей с применением инженерного моделирования тепловых и гидродинамических параметров литья. Моделирование литейных процессов, протекающих при изготовлении литой детали картера, выполняется для выявления мест образования дефектов, определения их расположения и предположительного размера, а также для последующего анализа процесса фазового перехода при охлаждении отливки.

В ИКС SolidWorks была создана 3D-модель отливки картера с технологической литниково-питающей системой.

С использованием модуля 3D-импорта, встроенного в ИКС NovaFlow, модель картера с литниково-питающей системой, а также моделью формы конвертировалась в конечно – объемную модель.

Анализ динамики охлаждения отливки, фазового перехода, связанности зон, кристаллизующихся последними, позволили определить места возможного появления дефектов усадочного характера.

Окончательный вывод был сделан, исходя из анализа расположения усадочных дефектов. Критерием для определения мест расположения усадочных дефектов и их величины является коэффициент усадки, он использован нами для предсказания пористости и усадочных раковин, достаточно больших для обнаружения методом радиографического тестирования.

Найденные дефекты позволяют утверждать, что брак литого изделия может составлять 5-6% от годного литья.

Из результатов инженерного моделирования тепловых и гидродинамических процессов литья - картера входного следует, что дефекты усадочного характера могут являться концентраторами напряжений в конструктивных элементах детали, а значит, могут оказать влияние на прочностные характеристики в процессе эксплуатации.

Результаты исследований позволили сформировать граничные и начальные условия для моделирования напряженно-деформированного состояния картера входного в местах образования усадочных дефектов.

Ю.М. Алексєєва, К.О. Костик

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТІ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ

Лиття відцентрове це виготовлення виливків у металевих формах, при якому розплавлений метал піддається дії відцентрових сил. Метал, що заливається, відкидається до стінок форми і, твердіючи, утворює виливок. Цей спосіб лиття широко розповсюджений у промисловості при одержанні пустотілих виливків з вільною поверхнею - чавунних і сталевих труб, кілець, втулок, обичайок і т.п.. Залежно від положення осі обертання форм розрізняють горизонтальні і вертикальні ливарні відцентрові машини. Горизонтальні машини найбільше часто застосовують при виготовленні труб. При одержанні виливків на машинах обертання метал з ковша заливають у форму, укріплену на шпинделі, що приводиться в обертання електродвигуном. Відцентрова сила притискає метал до бічної циліндричної стінки. Форма обертається до повного затвердіння металу, після чого її зупиняють і виштовхують виливок. Складні внутрішні стінки виливка виконують за допомогою стрижнів. Стінки форм для виливків зі складною зовнішньою поверхнею покривають формувальною сумішшю, яку ущільнюють роликками, щоб утворити необхідний рельєф. Виливки отримані методом відцентровою лиття, у порівнянні з виливками, отриманими іншими способами, мають підвищену щільність у зовнішньому шарі.

При литті тіл обертання зі складним зовнішнім контуром (наприклад, втулки, труби з фланцями) створюються утруднення для усадки в осьовому напрямку: у цьому випадку застосовують облицьовані (футеровані) ізложниці. Футерують ізложниці пісчано-глинястими або пісчано-смоляними сумішами, а також сухими теплоізоляційними покриттями. Такі ізложниці зносостійкі, але при цьому зменшується швидкість охолодження металу, що заливається, і погіршується якість поверхні виливка.

Відцентровий спосіб лиття здійснюється по двох схемах. По першій відцентрову силу використовують для утворення порожнини виливка, що здобуває форму циліндра. Вісь виливка збігається з віссю обертання форми. Таким чином, виходять виливки циліндричної форми з отвором заданого діаметра (втулки, труби). Другу схему – центрофугування – застосовують значно рідше. Відцентрову силу використовують тільки для заповнення форми розплавом і кристалізації металу. Весь виливок оформляється самою

формою, за звичай виготовленої з формувальної суміші або оболонкової (керамічної). Таким способом можна відливати різні фасонні деталі.

УДК 621.74.002:669.131.7

С.Ю.Афонін

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ФОРМИ ГРАФІТНИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ЧАВУНІ

Було встановлено, що всі механічні та фізичні властивості, характерні для високоміцного чавуну з кулястим графітом є результатом того, що графіт є істотно або повністю глобулярної форми. Будь-яке відхилення від цієї форми або пропорції графіту викличе різке відхилення від даних властивостей. [1, 2] Із цих причин стає зрозумілим, що контроль форми графіту є важливою складовою процесу виготовлення та випуску виливків.

В умовах промислового виробництва литва із високоміцного чавуну зазначені характеристики графітних включень (далі - ГВ) регламентуються відповідно до ГОСТ 3443-87.

При класифікації ГВ відповідно до ГОСТ 3443-87 виходять із порівняльної оцінки реальних мікроструктур з еталонними зображеннями. Такий метод вимагає від дослідника певних навичок і високої кваліфікації при ідентифікації різноманітних форм ГВ в реальній структурі високоміцного чавуну і є вельми обмеженим кількістю еталонних мікроструктурах. [3] Через це постає проблема суб'єктивності оцінки останніх, що є наслідком присутності людського фактора та чутливості використовуваного обладнання.

Необхідність розпізнання тонких змін форми та кількості ГВ у матричній структурі закономірно викликала потребу винайдення оптимальних рішень, щодо мінімізації побічних впливів на їхню кінцеву оцінку. Так, із початку 90-х років проводилася активна розробка методів візуального розпізнання зразків на основі пакетів комп'ютерних програм [4], що, нажаль, ніяк не відбилося на впровадженні даних рішень у вітчизняному ливарному виробництві та лишилося у вигляді окремих аналітичних комплексів використовуваних для проведення металографічних досліджень. Закордонне ж програмне забезпечення має ряд проблем, котрі зумовлюють неможливість його впровадження на місцевому ви-

робництві, серед яких: невідповідність та несумісність із прийнятими стандартами, обмеженість алгоритмів програм, які спрямовані на розпізнання конкретних ГВ, що, в свою чергу, унеможлиблює ефективну загальну кількісну оцінку структури чавунів і т. ін. [3]

Виходячи із вищенаведеного існує запит на створення програмного продукту оцінки форми ГВ та металевої структури із заданою вірогідністю точності розпізнання, котрий відповідав би поставленим критеріям сьогоденного технологічного процесу виготовлення литва з різних марок чавунів.

Список літератури

1. Imasogie B. I., Wendt U. Characterization Of Graphite Particle Shape In Spheroidal Graphite Iron Using A Computer-Based Image Analyzer // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 3, No.1, 2004, pp. 1-12.

2. Kapturkiewicz W. et al. Computer modelling of ductile iron solidification using FDM and CA methods // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 4 – Issue 1 – 2010 – pp. 310-323.

3. Соценко О. В., Куркострига И. А., Посыпайко И. Ю. Компьютерная оценка формы графита в высокопрочном чугуने // Процессы литья. 2010. № 6. С. 33–40.

4. Мельниченко А., Гончаров А. ЛММИИ на РОМИП-2009: Методы поиска изображений по визуальному подобию и детекции нечетких дубликатов изображений // Труды РОМИП 2009, Санкт-Петербург: НУ ЦСИ, 2009. – С. 108-121.

УДК 551.15.03.15.15

С. Ю. Афонін

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ФРАКТАЛЬНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ КУЛЯСТОГО ГРАФІТУ

Дискусія щодо механізму формоутворення кулястого графіту в розплаві високоміцного чавуну ведеться від початку отримання даного ливарного матеріалу в кінці сорокових років ХХ ст. [1] Різнобічні праці авторів, що мали на

меті ґрунтовний розгляд, та вичерпне пояснення процесів, котрі передують отриманню сферичних включень графіту не увінчалися успіхом. Донині жодна із наявних, більш ніж ста, теорій присвячених цьому питанню не в змозі повністю пояснити його природу.

При спостереженні за графітовими включеннями у вічко мікроскопу стає зрозумілим, що евклідова геометрія неспроможна описати їхню форму, а поняття «кулястий» застосовується з причин, скоріше контурної подібності, ніж ідеально глобулярної форми останніх. Насправді ж, як і більшість природних об'єктів такі включення, через їхню неправильність та фрагментарність, демонструють повністю інший рівень складності. [2] Низка робіт [3-5], із різною глибиною розгляду питання, показує, що описання форми таких тіл є прерогативою фрактальної геометрії.

Фрактал – об'єкт, що володіє властивістю самоподібності, тобто що складається зі структурних елементів, кожен з яких за своєю формою і структурою подібний об'єкту в цілому. [6]

Дослідження ранніх стадій формування включень графіту показало, що даний процес відбувається в результаті агрегації дисперсних субмікроскопічних блоків-кристалітів по дифузійному механізму. [7] Це жодним чином не суперечить історично першій запропонованій моделі росту фракталів Віттера-Сандера, за якої часточки матеріалу рухаються в просторі поки не відбудеться їхнього контакту із зародком або його відгалуженнями, що утворені іншими часточками, після чого вони осідають на поверхні даного зародка та припиняють власний рух, тим самим, спричиняючи ріст тіла із фрактальною геометрією [8], чи, іншими словами, фрактального кластера.

Через сьогоденну неможливість спостереження зародкоутворення у розплаві чавуну з причин відсутності відповідної технічної бази, доречним було би розроблення програмного забезпечення спроможного моделювати процес росту таких включень задля підтвердження вищенаведених тверджень.

Окрім решти позитивних сторін доцільність впровадження моделювання процесу росту фрактального кластера обумовлено можливістю включення в модель утворення кулястого графіту різних деталей процесу, що уможливорює визначення чутливості структури утвореної системи до різних факторів, які мають місце в реальній ситуації [9].

Список літератури

1. Неижко И. Г. О теориях образования шаровидного графита // Процессы литья: науч.-техн. журн. – Киев 2012. – № 5. – С. 33-42.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 656 с.
3. Потапов А. А., Вячеслава О.Ф., Бавыкин О.Б. Особенности разработки технологического процесса изготовления деталей с применением фрактального анализа поверхностного слоя // Механические свойства современных конструкционных материалов. Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН. – 2012. С. 202-204.
4. Таран Ю.Н. и др. Фрактальная модель роста зерен при затвердевании сплавов // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Том 3. – Дніпропетровськ 2001. – С. 414-421.
5. Соценко О. В. Фрактальная модель формирования графита в высокопрочном чугуна // Литье: технологии и оборудование. – 2009г. – № 1 – С. 54-56.
6. Сычев М. М. и др. Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов: лабораторный практикум. – СПб. – :СПбГТИ(ТУ), 2013. – 161 с.
7. Соценко О. В. Компьютерная DLA-модель формирования шаровидного графита в высокопрочном чугуна // Металл и литье Украины. – 2009. – № 9. С. 3-9.
8. Макаренко К. В., Тотай А. В., Тихомиров В. П. Использование фрактального формаонизма для описания структур конструкционных материалов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 4 – С. 55-64.
9. Смирнов Б. М. Фрактальные кластеры // Успехи физических наук. – 1986. – Т. 149, вып. 2. – С. 177-217.

УДК. 536:669:621.762

Є. Г. Афтандіянц, К. Г. Лопатько, А.А. Щерецький*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

*Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

Тел./факс.: 0662246796, e-mail: aftyev@yahoo.com

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ АЛЮМІНІЄВИХ НАНОЧАСТИНОК

Особливістю матеріалу в нанорозмірному стані є наявність на його поверхні великої кількості атомів, що мають некомпенсовані зв'язки. Це зумовлює підвищену вільну поверхневу енергію нанооб'єктів та їх інтенсивну взаємодію з навколишнім середовищем.

Серед численних методів одержання металевих наночастинок електроіскрова обробка гранул в рідині дозволяє отримувати нанооб'єкти при високих температурах, тисках і швидкостях охолодження, тобто наночастинок з високої енергонасиченістю та широким спектром структурних станів і властивостей.

Термодинамічний аналіз електроіскрової обробки металів в рідині показав, що процес супроводжується розкладанням робочого середовища, в разі води, на окислювачі O, O₂, H₂O, OH і відновники H₂, H, а у випадку органічної рідини також – C, CO, CO₂ та інші речовини.

Залежно від параметрів процесу отримання наночастинок спостерігається, як окислення, так і відновлення продуктів електроіскрової ерозії. При цьому на поверхні наночастинок можуть адсорбуватися кисень, водень, вуглець або сполуки, що їх містять. Можлива спільна або роздільна реалізація процесів десорбції з поверхні адсорбованих елементів і фаз, окислення і відновлення поверхні наночастинок.

Дослідження електроіскрової обробки металевих гранул в рідині показало принципову можливість отримання металевих наночастинок и високу ефективність їх застосування.

Враховуючи високу енергонасиченість наночастинок, отриманих електроіскровою обробкою металевих гранул в рідині, представляло інтерес дослідити можливість отримання вказаним способом наночастинок такого мета-

лу, що широко застосовується, як алюміній та вивчити закономірності їх фазових перетворень.

Аналіз результатів дослідження показує, що при нагріванні алюмінієвих наночастинок в інтервалі від 98 до 238 °С відбувається десорбція газів і вологи з їх поверхні, яка супроводжується зменшенням маси нанопорошку на 3,25%.

Процес плавлення алюмінієвих наночастинок починається при 650 і закінчується при 680 °С, при цьому час плавлення становить порядку 3 хв. Порівняння параметрів плавлення алюмінієвих наночастинок з аналогічними характеристиками масивного алюмінію, що містить 0,01% домішок (Al = 99,99%) і 0,3% домішок (Al = 99,7%), показує, що плавлення алюмінієвих наночастинок починається при температурі на 10 °С нижче, ніж масивного 99,99% Al і на 4 °С вище, ніж масивного 99,7% Al. Температура ліквідус алюмінієвих наночастинок на 15 °С нижче і на 2 °С вище, відповідних масивних матеріалів.

Час плавлення алюмінієвих наночастинок на 16% менше ніж масивного матеріалу, що містить 99,99% Al, і на 7% - 99,7% Al. Необхідно відзначити, що якщо максимальна швидкість плавлення масивного матеріалу, що містить 99,99% Al, досягається в середині тимчасового інтервалу плавлення ($t_{пл}$), то для алюмінієвих наночастинок максимум швидкості досягається при $t = (0,66-0,67)t_{пл}$ (рис. 5в).

Теплота плавлення алюмінієвих наночастинок менше ніж масивного алюмінію. З підвищенням дисперсності наночастинок таке розходження збільшується і якщо при розмірах 160 - 200 нм воно становить 1 - 10%, то при розмірах від 35 до 36 нм теплота плавлення алюмінієвих наночастинок в 2,1-2,3 рази менше, ніж масивного алюмінію.

При нагріванні розплавлених наночастинок до температури вище 727 °С, в інтервалі від 727 до 800 °С спостерігається екзотермічна реакція з виділенням тепла в кількості 15,6 Дж/г, що відповідає утворенню карбідів Al_4C_3 .

Необхідно відзначити, що утворення Al_4C_3 відбувається при температурах на 1000 - 1200 °С нижче і в 15 - 25 разів швидше, ніж утворення карбїду алюмінію шляхом прожарювання суміші сажі і порошку металевого алюмінію. При цьому теплота утворення Al_4C_3 в 60 - 120 разів менше ніж масивного карбїду алюмінію.

УДК. 621.74.046:620.178.16

Е. Г. Афтандиянц, В. П. Лихошва, О. А. Пеликан, Л. М. Клименко

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

Тел./факс.: 0444240250, e-mail: aftyev@yahoo.com

ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Напряженно-деформированное состояние отливки при охлаждении после затвердевания определяется разностью между допустимой скоростью деформации и скоростью нарастания свободной литейной усадки. Зарождение трещин происходит по межкристаллитным границам в том случае, когда литейная усадка металла не компенсируется межзеренной деформацией, в результате чего возникают напряжения, превосходящие прочность межкристаллитного сцепления.

При диспергировании первичной и вторичной структуры взаимное смещение кристаллов в процессе затрудненной усадки происходит легче, чем в металле с крупными кристаллитами. Удлинение образца в результате межзеренной деформации зависит от числа межзеренных границ на единицу длины, по которым происходят эти смещения. Чем мельче зерно, чем больше границ и тем выше относительное удлинение металла в интервале хрупкости. Проскальзывание по границам зерен в интервале хрупкости существенным образом зависит также от пограничного расположения неметаллических включений, которые затрудняют межзеренную деформацию.

Температура верхней границы интервала хрупкости зависит от особенностей кристаллизации и соответствует температуре образования каркаса твердой фазы. Уменьшение зоны транскристаллизации и размеров первичных кристаллитов приводит к снижению ее температуры. В этом случае требуется меньше жидкой фазы, при которой происходит жесткая взаимная блокировка кристаллитов. Нижняя граница температурного интервала хрупкости соответствует переходу от межзеренной деформации к преимущественно внутриверенной при охлаждении металла. Эта граница в основном отвечает температуре затвердевания окисьюльфидных включений по границам зерен.

Анализ приведенных данных показывает, что возникновение напряжений

и деформаций, образование и развитие трещин в биметаллических отливках в процессе охлаждения после затвердевания и в условиях внешних нагрузок зависит, в основном, от скорости литейной усадки, дисперсности первичной и вторичной структуры металла, а также распределения неметаллических включений.

Напряженно-деформированное состояние биметаллических отливок в литом состоянии определяется условиями развития усадочных процессов в металлической основе и рабочем слое, интенсивность которых зависит от химического состава, условий заливки и скорости теплоотвода при затвердевании и охлаждении после затвердевания.

Принимая за независимые факторы параметры заливки биметаллических отливок, а также углеродные эквиваленты стали металла-основы и чугуна рабочего слоя, определили эффективность влияния исходных факторов на развитие напряжений и условия разрушения отливок.

Исследование развития и распределения напряжений в рабочем слое при разрушении биметаллических отливок показало, что определяющее влияние на этот процесс оказывают отношение толщины рабочего слоя к толщине металла-основы, углеродный эквивалент стали, скорость охлаждения в интервале затвердевания и температуры заливки первого и второго слоев.

Оценка эффективности влияния факторов показало, что увеличение углеродного эквивалента стали и скорости охлаждения в интервале затвердевания приводит к понижению уровня напряжений в биметаллических отливках, а отношения толщины рабочего слоя к толщине металла-основы и температуры заливки первого и второго слоев – к его повышению. При этом соотношение влияния вышеуказанных факторов следующее: 1 : 0,5 : 2,0 : 0,7 : 2,0.

Предел прочности при изгибе и деформация разрушения с вероятностью 95 % определяются значениями углеродных эквивалентов стали и чугуна, скоростью охлаждения в интервале затвердевания и температурой заливки первого слоя.

Анализ значений критерия Стьюдента показал, что для предела прочности при изгибе эффективность влияния факторов химического состава и температуры заливки в 3 – 4 раза выше, чем скорости охлаждения в интервале затвердевания, а для деформации разрушения – в 1,1 – 1,6 раза.

УДК 539.3/6:669.055(075.8)

Ахмед Сундус Мохаммед, О. В. Акимов

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

В настоящее время большой интерес представляют сплавы с эффектом памяти формы, которые широко применяются в различных областях техники (спецмашиностроение, приборостроение, авиакосмическая техника, бытовая техника и др.). При этом наибольшее распространение получили сплавы с памятью формы на основе Ti-Ni, применяемые преимущественно в области медицины, благодаря уникальному сочетанию эксплуатационных свойств.

Сплавы с эффектом памяти формы характерны тем, что в пластически деформированном состоянии восстанавливают свою первоначальную форму непосредственно со снятием нагрузки или после нагрева. Суть этого явления заключается в следующем. В исходном состоянии в материале существует определенная структура. Под влиянием деформации внешние слои материала вытягиваются, а внутренние сжимаются (средние остаются без изменений). Эти вытянутые структуры – мартенситные пластины. Необычным является то, что в материалах с памятью формы мартенсит термоупругий. После нагрева начинает проявляться термоупругость мартенситных пластин, то есть возникают внутренние напряжения, которые стремятся вернуть структуру к исходному состоянию, а именно сжать вытянутые пластины и растянуть сжатые. Поскольку внутренние вытянутые пластины сжимаются, а внутренние растягиваются, материал в целом проводит автодеформацию в обратном направлении и восстанавливает свою исходную структуру, а вместе с ней и форму.

Несмотря на такие уникальные свойства материалов с эффектом памяти формы актуальным более детальное изучение таких сплавов и создание новых. Главным недостатком таких сплавов является высокая стоимость и сложность получения с использованием специального вакуумного оборудования.

На сегодняшний день является актуальным упростить способ получения сплавов с памятью формы и заменить дорогостоящие составляющие химического состава сплава на более доступные с сохранением уникальных эксплуатационных свойств на высоком уровне. Наибольший интерес для современной Украины представляют материалы с эффектом памяти формы на основе железа. Этот класс материалов является

наиболее дешевым и более простым в производстве, так как не содержит дорогостоящих составляющих и не требует специального вакуумного оборудования для производства.

УДК 669

С. С. Баус

национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, Россия

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Под моделированием понимается проведение исследования объектов для познания и отображения их свойств, которыми наделяют модель [1]. Изменяя параметры внешнего воздействия или самого объекта можно проследить поведение системы в различных условиях, а также спрогнозировать возможные дефекты или «узкие места».

Система моделирования литейных процессов должна базироваться на следующих принципах системного единства, совместимости, типизации, развития. Комплекс средств моделирования и проектирования включает семь видов обеспечения: техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое, организационное [2].

Сейчас в мировой практике имеется примерно около 5-8 видов программного обеспечения, направленного на решение задач, которые стоят перед инженерами и технологами литейного производства [3].

Данное программное обеспечение дает возможность отобразить процессы наполнения поверхности формы металлом, кристаллизации отливок, в автоматическом режиме определять вероятные места, в которых могут возникнуть дефекты и включения в готовой отливке. Кроме того, программный продукт с помощью производительного программного ядра и алгоритма распознавания реализует возможность прогнозировать образование засора и недоливов в теле самой отливки, а также эрозии формы. Программный продукт дает возможность оптимизировать технологию для отдельных отливок, данное программное

решение основано на принципах оптимизации литниковой и питающей геометрических систем, а также технологических характеристик процесса литья.

Данная система может быть применена для моделирования следующих способов литья:

- литье в кокиль;
- литье в оболочковые формы;
- литье в песчано-глинистые формы и ХТС;
- литье под низким давлением и т.д.

Использование программного комплекса поможет пользователю достигнуть следующих принципов эффективности:

- снижение сроков подготовки и проектирования технологий для производства отливки;
- повышение качества готовых отливок;
- снижение брака;
- исключение этапа изготовления опытных партий;
- снижение затрат на изготовление оснастки;
- повышение конкурентоспособности предприятия.

Данное программное обеспечение состоит из трех основных блоков, которые решают текущие производственные и технологические задачи. Первый модуль позволяет оценить процесс наполнения формы, кристаллизацию сплава и образование усадочных дефектов. Второй модуль предназначен для автоматизированного поиска дефектов и включений. А последний модуль для создан для оптимизации параметров технологического процесса изготовления отливок.

Вычислительные возможности системы дают возможность:

- оценить динамику заполнения формы металлом и кристаллизацию;
- проследить изменение параметров, таких как поле температуры, время кристаллизации, времени достижение критической доли твердой фракции, определить скорость охлаждения, дефекты усадочного происхождения и др.
- определить значения термпар в произвольной изготовлении годной отливки с учетом заданных пользователем параметров.

Все расчеты в программном обеспечении реализуются в автоматическом режиме сразу после внесения требуемых параметров.

Данное программное обеспечение не требует специализированной подготовки кадров, а это очень важно в наше время.

Список литературы

1. Вольнов И.Н. Системы автоматизированного моделирования литейных процессов – состояние, проблемы, перспективы // Литейщик России. - 2007. - №6. - 14-17 с.
2. Громакин С. А. Математическое моделирование: учебное пособие. Томск: изд-во ТГУ, 2015. – 276 с.
3. Ильин В.П. Методы конечных разностей и конечных объемов для эллиптических уравнений. -Новосибирск, Институт математики. – 2000. - 345 с.
4. Barkhudarov M., Wei G. Motion of Rigid Bodies in Liquid Metal // Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes - XI, May 28 - June 2, 2006, Orio, France, eds. Ch.-A. Gandinand M. Bellet. - 2006. - P. 71-78.
5. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Изготовление и использование заготовок с тиксоструктурой // Технология металлов. – 2004. - №5-7

УДК 669

М. С. Баус

Национальный исследовательский Томский государственный университет
г. Томск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЦЕЛЮ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Необходимо разрабатывать новые технологии и усовершенствовать старые в литейном производстве. Процессы литейного производства представляют собой сложную системы, на которую оказывают множество неучтенных факторов, поэтому для совершенствования процессов литейного производства необходимо внедрять и реализовывать принципы математического моделирования.

Со временем распространение процессов изготовления отливок по выплавляемым моделям явило свою экономическую эффективность использования в приборостроении и машиностроении.

В наше время имеется нехватка информации о системах автоматизированного моделирования систем литейного процесса. Множество рекомендаций носит более общий характер и специально не затрагивает некоторые специфические вопросы, основанные на оригинальных математических моделях и особенностях численных алгоритмов математического анализа.

Но хочется отметить, что использование приближенной модели, включающая в себя определенные свойства исследуемого объекта, дает возможность более точно увидеть взаимосвязь процессов и свойств, влияние внешних характеристик, качественный и количественный состав входов и выходов, быстрее сформировать необходимые выводы, разработать правильные решения в конкретной ситуации.

В общем случае математическая модель реального объекта, процесса или системы представляется в виде системы функционалов.

$$O_i(Q, W, P, t) = 0,$$

где Q - вектор входных переменных, $Q = [q_1, q_2, q_3, \dots, q_N] t$,

W - вектор выходных переменных, $W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_N] t$,

P - вектор внешних воздействий, $P = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_N] t$,

t - координата времени.

Прогресс моделирования связан с разработкой прикладных компьютерных систем математического моделирования, поддерживающие полный жизненный цикл модели. Успешное решение указанных задач требует от исследователей заниматься разработкой численных методов, качественной реализацией их в виде программных средств, обеспечивающих диалоговое общение пользователя с рабочей станцией (компьютером), ведь все аналитические методы имеют жесткие ограничения по области применения и используются обычно для простых систем или частей сложной системы, обычно в линейной составляющей. Такие технологии исследований с обширным применением цифровых моделей и компьютера получили название вычислительный эксперимент.

Данные составляющие позволяют создать полностью или частично независимые процедуры расчетов электромагнитных и тепловых полей. Несмотря на эвристический характер многих операций, математическое моделирование имеет ряд положений и приемов, общих для получения моделей различных объектов.

За фактор величину представляют контролируемую характеристику тела, характеризующая определенное свойство тела или режим работы системы. Это

характеристика виражається числовим значенням, вимірюючись в границях змінень, повинна впливати на величину оптимізації.

В заключенні хочеться відзначити, що математичне моделювання в литейному виробництві стає невід'ємною частиною технологічного процесу виготовлення відливок і ефективним інструментом зниження собівартості і підвищення швидкості і точності рішення неперервно росте.

Список литературы

1. С. А. Дорохин, Н. С. Янченко. Литейное производство — Томск: Изд-во СКП, 2012.
2. П. Р. Кулешов. Математическое моделирование в металлургии — М: Изд-во МФП, 2014.
3. Дашевский А.В. Основы математического моделирования – М: Изд-во НМП, 2003..

УДК 669.162.275:669-154

Ю. Д. Бачинський, В. Б. Бубликов, С. Н. Медведь

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

ВЗАЄМОДІЯ МОДИФІКУЮЧИХ СПЛАВІВ З ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИМИ РОЗПЛАВАМИ СИСТЕМИ Fe-C-Si

Останнім часом високоміцний чавун знаходить все більше застосування в якості заміника сталі, ковкого чавуну і кольорових сплавів при виробництві тонкостінних деталей, оскільки його отримання на 30-35 % дешевше, ніж сталі, в 3-4 рази дешевше, ніж кольорових сплавів, і лише на 20-30 % дорожче, ніж звичайного сірого чавуну. При використанні замість сірого чавуну конструкція виливка легша при значно вищому рівні механічних і експлуатаційних властивостей. Високоміцний чавун застосовують для виготовлення блоків циліндрів, осей, зубчастих коліс, деяких поршнів для двигунів внутрішнього згорання, деталей сільськогосподарських машин, підшипників, а також деталей прес-камер машин лиття під тиском та інш. Високоміцний чавун має гарні ливарні властивості та оброблюваність різанням, що підвищує ефективність виробництва і знижує собі-

вартість продукції, в той час як сталь і ковкий чавун мають погані ливарні властивості.

Великі зусилля спрямовуються на отримання деталей з оптимальною мікроструктурою без дефектів в литому стані. Така задача може бути вирішена шляхом застосування модифікування в перекристалізаційному періоді модифікуючими сплавами регламентованого хімічного та визначеного фазового складу, які впливають на ефективність переходу активних хімічних елементів в розплав чавуну на початковій стадії заливання ливарних форм. У виробництві високоміцного чавуну найбільш широко використовуваними є феросиліцій-магнієва лігатура ФСМг7 для сфероїдизуючого модифікування і феросиліцій ФС75 для графітуючого. Тому важливим є дослідження структури і взаємодії цих модифікуючих сплавів з високовуглецевими розплавами системи Fe-C-Si.

Досліджена на скануючому електронному мікроскопі JSM6490LV початкова мікроструктура зразка феросиліцію ФС75 складалася з 45,74 % кремнію і 54,26 % лебоїту (FeSi_2), а лігатури ФСМг7 – з лебоїту (68,49 %), кремнію (22,48 %) і силіциду Mg_2Si (9,03 %).

Витримка протягом ~5 с зразків модифікуючих сплавів в розплаві чавуну з температурою 1400 °C (найбільш вживана температура в технологіях модифікування) показала, що при взаємодії інтенсивно протікають зустрічні фізико-хімічні процеси переносу – заліза в досліджуваний сплав, а кремнію та магнію (при наявності) в чавун. Найбільш швидко обмінні процеси протікають поблизу зовнішньої поверхні плавкого шару. Збагачуючись залізом, фаза кремнію переходить в лебоїт, який переходить в FeSi , далі в міру підвищення концентрації заліза утворюються з'єднання Fe_5Si_3 , Fe_2Si і Fe_3Si . При плавленні магнійвмісної лігатури ще на стадії її нагріву до температури плавлення спостерігається трансформація Mg_2Si в з'єднання з більш низьким вмістом магнію, а при досягненні температури ~1085 °C починається плавлення силіциду магнію. При досягненні температури кипіння (1102 °C) пароподібний магній взаємодіє з компонентами чавуну, створюючи умови для формування кулястого графіту при кристалізації розплаву. Температура і швидкість плавлення модифікуючих сплавів визначаються кількісним співвідношенням силіцидів заліза, температура плавлення яких змінюється від 1200 до 1410 °C.

Внаслідок зміни хімічного складу, мікроструктура затверділого плавившегося шару лігатури ФСМг7 на 80 % складається з тугоплавкої фази FeSi з температурою плавлення ~1410 °C. По межах зерен FeSi розташовується фаза

Fe_2Si (~15 %) і невелика кількість магнійвмісних фаз з високим вмістом заліза. Це свідчить про те, що в кінці стадії переходу магнію в чавун досягається високий ступінь насичення залізом плавкого шару лігатури. Внаслідок цього значно зростає температура ліквідус і різко знижується швидкість плавлення лігатури.

Наявність магнію в FeSiMg лігатурі і його перехід з рідкого в пароподібний стан сприяє інтенсивному перемішуванню розплаву чавуну. Це явище ускладнює утворення на поверхні лігатури затверділого шару розплаву, інтенсифікує тепломасообмінні процеси, сприяючи підвищенню швидкості плавлення FeSiMg лігатур в 1,8-2,0 рази, порівняно з феросиліцієм ФС75.

Системне вивчення особливостей фізико-хімічних та тепломасообмінних процесів взаємодії модифікуючих сплавів з високовуглецевими розплавами системи Fe-C-Si дає змогу вдосконалити технологію одержання у виливках бажаної мікроструктури і підвищених властивостей високоміцного чавуну з кулястим графітом, що сприятиме розвитку сучасного машинобудування та зростанню експортного потенціалу країни.

УДК 621.74:669.131.7

А.П. Белый

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Формирование горячих трещин, напряжений, усадочных раковин, пористости и других дефектов происходит при затвердевании отливки. Поэтому установление влияния конструкции и материала литейной формы на процесс затвердевания отливок является важной научной и практической задачей.

Реальная отливка имеет сложную 3-х мерную конфигурацию, фронт затвердевания только в отдельных частных случаях является плоским, теплофизические коэффициенты изменяются с уменьшением температуры, сложно учесть влияние литниковой системы и скорости заполнения расплавом формы, наличие холодильников, покрытий, утеплителей и т.д. Для решения такого класса задач применяют: метод Фурье, метод конечных интегральных преобразований, операционный метод, метод функций Грина, метод конечных разно-

стей и метод конечных элементов. Для прикладных расчетов затвердевания отливок наибольшее распространение получил метод конечных интегральных преобразований, в котором искомое решение, удовлетворяет не уравнению теплопроводности, а интегралу теплового баланса (метод А.И. Вейника, метод Т. Гудмена). В вариационных методах также используется идея конечной глубины проникновения теплового возмущения и заданная наперед форма решения. Однако наиболее точные и полные решения сложных задач можно получить, применяя численные методы расчета, основанные на конечно-разностных схемах, что позволяет использовать ПК.

Экспериментальные исследования процессов затвердевания проводили с помощью термопар на прокатном валке массой ~2200 кг из высокопрочного чугуна масс. %: C-3,10; Si-1,41; Mn-0,58; P-0,214; S-0,010; Cr-0,34; Ni-0,91; Mg_{ост}-0,03. Анализ экспериментальных кривых охлаждения бочки валка Ø450 мм показал, что чугун, залитый при температуре ~1320 °С, практически не имеет, в соответствии с классической схемой, перегрева расплава в форме. Это обусловлено тем, что заполнение формы осуществляется через сифонную литниковую систему с тангенциальным подводом питателя. При интенсивном вращении металла теплота перегрева теряется сначала в песчано-глинистой форме нижней шейки, затем в кокильной форме бочки, а далее в песчано-глинистых формах верхней шейки и прибыли Ø330 мм. Поэтому уже через 3 мин. температура расплава уменьшалась на 90 °С – с 1320 °С до 1230 °С.

Термопара, установленная в осевой зоне отливки, показывала температуру эвтектической кристаллизации до ~1115 °С у чугуна, модифицированного магнием. Такое понижение температуры по сравнению со значениями, приведенными на диаграмме состояния Fe-C, обусловлено спецификой литья валков в кокильной форме, переохлаждением расплава и повышенным содержанием фосфора и магния. Общая продолжительность затвердевания валка составляла ~80 мин. Причём, наблюдали ускоренное продвижение фронта затвердевания в поверхностной зоне на глубину до 20...40 мм и в осевой зоне - 160...225 мм [1].

Были выполнены исследования микроструктуры в бочках валков, нижних и верхних шейках [2]. Результаты экспериментальных исследований использовали при моделировании процесса затвердевания валков различных типоразмеров с целью установления времени начала теплоизоляции литейной формы от окружающей среды [3].

Список литературы

1. Білий О.П. Комплексномодифицированные валковые чугуны / О.П. Білий, Я.С. Маймур, І.О. Осипенко, Д.В. Муха // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. праць. 2014.– № 1(32), С.75-79.
2. Білий О.П. Теплофизические процессы регулирования теплоотвода при затвердевании чугунных прокатных валков. / О.П. Білий // Литье. Metallургия. 2015: Материалы Международной научно-практической конференции (26-28 мая 2015 г., г.Запорожье)/ Под общ. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.И.. ЗТПП. – С 24-25.
3. Хрычиков В.Е. Адаптация модели LVMFLOW к процессу затвердевания чугунного прокатного валка / В.Е. Хрычиков, А.П. Белый, Е.В. Меняйло, Д.В. Маркелова // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць. –Краматорськ: ДДМА. –2012. – №4 (25). – С 160-163.

УДК 621.74

Т.В. Берлизева, О.И. Пономаренко, А.М. Каратеев

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ СМЕСЕЙ НА ЖИДКОМ СТЕКЛЕ С ФУРФУРИЛОКСИПРОПИЛЦИКЛОКАРБОНАТАМИ

В качестве перспективной добавки для изготовления форм и стержней на основе жидкого стекла (ЖС) предлагается использовать универсальную добавку фурфурилоксипропилциклокарбонатов (ФОПЦК), разработанную в НТУ «ХПИ» [1].

Отверждение композиции (кварцевый песок + ФОПЦК + жидкое стекло) происходит при взаимодействии универсальной добавки ФОПЦК с жидким стеклом. Любые циклокарбонаты (пропиленциклокарбонат, ФОПЦК и др.) в щелочной среде неустойчивы и разлагаются с выделением CO_2 , который реагирует с жидким стеклом с образованием полисиликатов в объеме сформированной композиции. Такие системы можно отнести к наноструктурируемым композици-

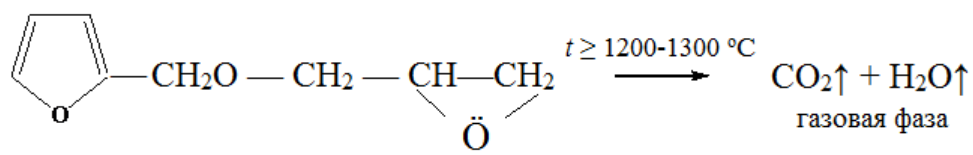
онным материалам, т. к. процессы взаимодействия между ФОПЦК и ЖС проходят на поверхности кварцевого песка в мономолекулярных слоях [2].

Органическая добавка ФОПЦК выполняет двойную функцию: стабилизирует дисперсность частиц наполнителя (кварцевый песок), так как молекулы ФОПЦК обволакивают частицы, создавая дополнительные сольватные оболочки, с одной стороны, а низкое поверхностное натяжение ослабляет капиллярные силы в порах и это определяет степень сжатия при выдержке (сушке), с другой стороны

Важнейшей характеристикой кремнеземистой системы, при использовании ее как связующего, является время гелеобразования – время за которое осуществляется золь-гель переход. Основная стадия в процессе образования геля – столкновение двух кремнеземных частиц, обладающих достаточно низким зарядом на поверхности. При взаимодействии таких частиц между ними образуются силоксановые связи, необратимо удерживающие частицы вместе.

Наибольшая скорость гелеобразования примерно при pH=5. В момент разложения ФОПЦК с выделением CO₂ как раз и связано с резким снижением pH жидкого стекла и перевод системы из золь структуры в гель структуру, а наличие в системе органического остатка в виде фурфурилглицидного эфира приводит к ускорению роста скорости гелеобразования.

Разупрочнение формовочной смеси связано с термодеструкционным процессом фурфурилглицидного эфира по схеме:

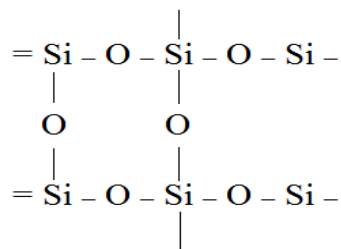


ФОПЦК является экологически безопасным материалом, так как при заливке метала в форму в результате термохимической деструкции он разлагается и выделяет в объеме сформированной композиции CO₂ и пары воды в окружающую среду.

Таким образом, роль CO₂, который выделяется из ФОПЦК в процессе формования форм или стержней состоит в связывании (нейтрализации) «очень щелочного» раствора ЖС и при достижении pH=5 происходит образование геля со структурой полисиликата.

Введение в композицию ФОПЦК выполняет двойную функцию – приводит к образованию наночастиц SiO₂, которые действуют как центры кристаллизации

и зародышеобразования, а выделяющийся CO₂ (insitu) доводит значение pH до оптимальных скоростей перехода золя жидкого стекла в гель со структурой полисиликата и тетраэдрическими связями.



Анализ механизма упрочнения и разупрочнения смесей на кварцевом песке с жидким стеклом и ФОПЦК показал, что универсальная добавка позволяет получать качественные формы и стержни на жидком стекле.

Список литературы

1. Патент на корисну модель UA № 95138 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей / А.М. Каратєєв, О.І. Пономаренко, Д.О. Літвінов, О.С. Калкаманова, Т.В. Берлізева. Заявка от 01.07.2014. Опубл. 10.12.2014. Бюл. № 23, 2014 р.
2. Берлизова Т.В. Исследование влияния комплексной разупрочняющей добавки на свойства холоднотвердеющих смесей на жидком стекле / Т.В. Берлизова, О.И. Пономаренко // *Металлургическая и горнорудная промышленность (SCOPUS)*. – 2014. – № 4. – С. 27–30.

УДК 669.131.7:593.216

Д. Н. Берчук, В. Б. Бубликов, Л. А. Зеленая, В. А. Овсянников, Е. Н. Берчук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@yandex.ua

ВЛИЯНИЕ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Повышение эффективности процессов модифицирования является базисом для разработки новых марок высокопрочных чугунов с высоким уровнем

механических и служебных свойств. Исследования удельной и долговременной прочности чугунов с шаровидным графитом подтвердили техническую перспективность и экономическую целесообразность получения тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна. Получение без отбела отливок со значительно меньшей предельной толщиной стенки позволяет высокая графитизирующая способность внутриформенного модифицирования, максимально приближенно во времени к началу процесса кристаллизации. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния внутриформенного графитизирующего модифицирования на формирование структуры отливок из высокопрочного чугуна в предкристаллизационном периоде.

Изучали эффективность двойного модифицирования: сфероидизирующего в ковше лигатурой ЖКМК-4Р, содержащей (в % по массе): 7,7 Mg; 6,7 Ca; 1,2 P3M; 52,1 Si; ост. Fe и графитизирующего в литейной форме ферросплавами: FeSiBa20, FeSiCa30, порошковыми FeSiBa4 и FeSiMg8Ca7. После сфероидизирующего модифицирования в ковше лигатурой ЖКМК-4Р микроструктура образцов, вырезанных из ступенчатой пробы толщиной 2; 3,5; 6,5 и 12 мм, состояла из цементита в количестве 40, 35, 13 и 4 %, соответственно, шаровидного графита и преимущественно перлитной металлической основы.

После графитизирующего модифицирования в литейной форме FeSiBa4 цементит образовался в микроструктуре образцов толщиной 2 и 3,5 мм в количестве 20-15 %. После модифицирования FeSiBa20, FeSiMg8Ca7, FeSiCa30 предотвращается образование структурно-свободного цементита даже в самой тонкой ступени толщиной 2 мм. Степень сфероидизации графита (ССГ) по сравнению с базовым высокопрочным чугуном (72-80 %) повышается до 85-97 %. Графитизирующее модифицирование FeSiMg8Ca7, FeSiBa20, FeSiCa30 в структуре отливок с толщиной стенок от 2 до 12 мм, обеспечивает получение измельченной литой структуры, состоящей, соответственно, из включений шаровидного графита диаметром от 5 до 20 мкм с плотностью распределения от 1410 до 440 шт/мм² и металлической основы из феррита в количестве от 5 до 90 % (остальное перлит).

Таким образом высокая графитизирующая способность дополнительного внутриформенного модифицирования добавками FeSiMg8Ca7, FeSiBa20, FeSiCa30 позволяет устранить отбел и существенно улучшить структуру тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна в литом состоянии.

В. С. Богушевський

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ

КЕРУЮЧИЙ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС МАШИНИ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Вступ. Виробництво лиття під тиском (ЛПТ) характеризується використанням засобів автоматизації й обчислювальної техніки для керування процесом. Автоматична система керування (АСК) забезпечує нормальну роботу комплексів ЛПТ при мінімальній собівартості продукції, підвищує якість і розширює сортамент відливок, що виплавляються.

Зміна якості виливків пов'язана з коливанням параметрів технологічного процесу. Нестабільність параметрів призводить до браку. Аналіз процесу ЛПТ показує, що брак виливків з'являється, в основному, по двох причинах: не оптимізовані режими лиття, або вони порушуються в процесі виробництва.

Постановка задачі. Метою досліджень є підвищення точності контролю і керування процесу ЛПТ.

Результати досліджень. АСКТП виконує інформаційні й керуючі функції.

Інформаційні функції:

– автоматичний збір і первинна обробка інформації, зокрема вимірювання параметрів, фільтрація вимірів, перевірка інформації на достовірність, масштабування;

– оперативне відображення технологічних параметрів, сигналізація про вихід параметрів за критичні межі, видача значень параметрів у АСК верхнього рівня й оператору-ливарнику.

Керуючі функції:

– замкнуте управління процесом, зокрема порівняння поточних значень параметрів зі заданими, визначення керуючих діянь, видача їх на виконавчі механізми, а також повне керування циклом машини по заданій циклограмі;

– замкнуте управління процесом у напівавтоматичному режимі.

Як базовий засіб автоматизації машини ЛПТ обрано обчислювальний комплекс (КОК), що складається із чотирьох контролерів. Перший реалізує задачі керування процесами запресовки і підпресовки, регулювання натягу колон,

температури і дози розплаву. Другий – задачі регулювання процесів кристалізації відливки і прес-залишку, тиску і температури робочої рідини, термостатування прес-форми. Третій здійснює керування технологічними операціями машини ЛПТ у визначеній послідовності. Четвертий – зв'язок КОК із пультом оператора-ливарника й системою верхнього рівня.

Зв'язок кожного контролера з джерелом інформації, видача керуючих дій на виконавчі механізми проводиться через пристрій зв'язку з об'єктом, що дозволяє безпосередньо виходити на виконавчі механізми (слідкуючі золотники, тиристори, електромагніти, тиристорні ключі). Уставки в системі задаються вручну з пульта оператора-ливарника і від системи верхнього рівня. Видача уставок в контролери 1...3 відбувається через контролер зв'язку 4. Крім того, через нього передаються значення регульованих технологічних параметрів від контролерів на індикаторне табло пульта оператора-ливарника. З метою підвищення надійності системи кожний контролер має контур діагностики, забезпечуючи резервування модуля. Стійка КОК виконана у пилозахищеному конструктиві, тому її можна розміщувати безпосередньо біля технологічного агрегату.

Для передачі інформації у КОК використовується чотири типи вхідних сигналів: аналогові від датчиків тиску, зусиль і температури, число-імпульсні від датчиків швидкості прес-поршня і кута повороту реверсивного двигуна, позиційні від контактного рівнеміра і кінцевих вимикачів і дискретні від пульта оператора-ливарника. Вихідні сигнали поділяються на аналогові для управління слідкуючими золотниками і дискретні для управління електромагнітами і тиристорами.

Обмін повідомленнями між зв'язним і трьома контролерами нижнього рівня проводиться через загальну пам'ять. Зв'язний контролер має буфер загальної пам'яті (системний адаптер), що зв'язує його із кожним контролером нижнього рівня. Загальна пам'ять може належати або зв'язному контролеру, або контролеру нижнього рівня. При передачі буфера загальної пам'яті видається переривання на той контролер, якому передається буфер. Зв'язний процесор є ініціуючим і в початковий момент всі буфери загальної пам'яті належать йому.

Зв'язок між оператором-ливарником комплексу ЛПТ і АСКТП відбувається через пульт, з якого задається рівень управління (верхній або місцевий) і режим роботи (ручний, напівавтоматичний, автоматичний), управління окремими механізмами і вузлами, уведення параметрів технологічного процесу, відображення інформації про його хід, функціонування системи.

Використання КОК у складі АСК дозволяє підвищити якість відливок.

УДК 669.74:546.621.541.12

В.Н. Бондаревский, В.Д. Бабюк, Е.В. Жидков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ВВОДА ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПЕРЕДЕЛЕ НА СТРУКТУРУ АУСТЕНИТНЫХ ЧУГУНОВ С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Целью технологического процесса производства литых заготовок из аустенитного чугуна является получение годного изделия высокого качества, отвечающего заданным эксплуатационным характеристикам и требует комплексного подхода, учитывающего конечные технические результаты.

В силу ряда объективных причин использование высоко- или экономно-легированных аустенитных чугунов должно быть оправдано наличием комплекса эксплуатационных характеристик. Превалирующим направлением ведения технологического процесса производства аустенитных чугунов должно быть получение необходимых свойств в литом состоянии, т.к. термическая обработка (графитизирующий отжиг, нормализация из-за обезуглероживания поверхностного литого слоя заготовки приводит к трансформации в этом слое структуры с образованием грубо-игольчатого мартенсита. Такая трансформация структуры приводит к резкому ухудшению практически всех эксплуатационных характеристик.

Таким образом, вопросы металлургического передела и внепечной обработки расплава, как средства управления литой структурой аустенитного чугуна приобретает первостепенное значение.

Факторы химического состава шихты и плавки являются одними из основных предмодифицирующих технологических составляющих при получении аустенитных чугунов с комплексом высоких физико-механических и специальных свойств.

Получение гидроплотной отливки высокой технологической сложности из аустенитного чугуна возможно при оптимальном химическом составе чугуна и рациональной системе питания отливки.

Для аустенитного чугуна свободный углерод в структуре важен как фактор регламентации многих специальных и технологических свойств, углерод в растворе γ -железа – эффективный стабилизатор аустенита.

Понижение в сплаве одной объёмной единицы свободного углерода компенсируется почти четырьмя весовыми единицами металла, что в условиях заложенной размерности отливки ведет к развитию усадочных процессов. Поэтому основными задачами металлургического передела при производстве литья из аустенитного высокопрочного чугуна являются: получение в чугуне максимально допустимое содержание углерода, предотвращение его угара при плавке, своевременного проведения модифицирующей обработки расплава.

Расчетом шихты должно быть предусмотрено введение кремния с модификатором, т.е. в печь загружается шихта, имеющая минимальное содержание кремния. Это делается из двух соображений:

- 1) снижения активности углерода в расплаве;
- 2) повышения содержания кремния за счет сфероидизирующего модифицирования кремнийсодержащими модификаторами;

Растворимость и термодинамическая активность углерода в расплаве сильно зависит от количества кремния, никеля, марганца – элементов входящих в систему легирования аустенитных чугунов. Повышение содержания кремния на 1 % снижает растворимость углерода в расплаве на 0,3 %, на эту же величину снижается растворимость углерода при введении 5% никеля или повышается при введении 5% марганца.

Повышенная активность углерода на этапе ведения плавки способствует его окислению через шлаковую и газовую среды плавильной печи. Скорость обезуглероживания зависит не только от повышения термодинамической активности углерода, но и от изменения строения и свойств металлической жидкости под воздействием меди и никеля. Интерпретируя эти данные к аустенитному чугуну, имеющему углерод и компоненты, повышающие термодинамическую активность углерода (кремний, никель, медь), и исходя из цели удержания углерода в расплаве вплоть до внепечной обработки, необходимо на этапе расплавления и перегрева иметь этих компонентов (никель, медь, кремний) как можно меньше в ванне печи.

Марганец в жидком железоуглеродистом расплаве, повышая растворимость углерода, снижает его термодинамическую активность, т.е. можно предположить, что марганец будет способствовать удержанию углерода в расплаве.

Суммарное содержание никеля, меди, марганца и кремния в аустенитном чугуна для деталей высокой технологической сложности может достигать 17-20 %, а при плавке аустенитного чугуна “NiResist” от 25% до 40% легирующих компонентов (в том числе от 14 до 36% никеля), что практически эквивалентно снижению углерода на $0,7 \div 0,8$ %, только по расчету шихты. К этому следует прибавить потери углерода из-за повышения его термодинамической активности. Взнос только кремния, из-за повышения его содержания в расплаве на 2 %, оборачивается снижением растворимости углерода на 0,6 %.

Таким образом, если предположить технологический процесс производства аустенитного чугуна для деталей высокой технологической сложности с загрузкой в шихту никеля и меди и высоким исходным содержанием кремния, то потери углерода возрастают еще на $0,8 \div 0,9$ %. Следовательно, использование в качестве компонентов шихты, загружаемых в завалку, материалов, имеющих минимум элементов, повышающих термодинамическую активность углерода в расплаве, необходимо. Необходимость эта по-видимому должна сохраняться до момента расплавления перегрева расплава перед корректировкой и доведением сплава до требуемого химсостава по легирующим элементам. При этом введение легирующих элементов (никеля и меди) должно быть во времени минимально разделено с внепечной обработкой расплава чугуна модификаторами, т.е. дополнительная задача никеля и меди повысить термодинамическую активность углерода перед модифицированием.

УДК 621

В.Н.Бондаревский, А.В.Наривский, К.В.Гаврилюк, В.Д.Бабюк, Е.В.Жидков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины. Киев

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАСТЕР-СПЛАВА В ШИХТЕ НА СТРУКТУРУ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК19М1

Использование при получении заэвтектических силуминов технологически подготовленных алюминий-кремниевых лигатур (мастер-сплавов) является перспективным направлением, использующим явление структурной наследственности.

На рис. 1. представлена микроструктура заэвтектического силумина АК19М1 полученного на основе легирования расплава первичного алюминия мелкокристаллическим мастер-сплавом АК40МЗФ без последующего модифицирования.

Анализ микроструктуры показал высокую эффективность использования мелкокристаллического мастер-сплава. Высокая степень дисперсности кристаллов первичного кремния гарантированно формируется при производстве мастер-сплава и передается как явление структурной наследственности.

Повышение скорости кристаллизации приводит к уменьшению размеров кристаллов первичного кремния. Для образцов толщиной 20; 12; 6 мм средний линейный размер по большей стороне составил 17,35 мкм до 15,63 мкм и 13,09 мкм соответственно.

Кристаллы первичного кремния расположены равномерно, имеет вид достаточно компактных включений с уменьшением соотношения сторон при увеличении скорости кристаллизации, матрица располагающаяся между кристаллами первичного кремния сходна со структурой доэвтектического силумина со степенью эвтектичности 0,7-0,8 с расположением включений эвтектического кремния и фазы Al_2Cu в междендритном пространстве. Обращает внимание на значительное количество неравновесной $\alpha-Al$ фазы (достигающей значений 35-40%).

Неравновесная $\alpha-Al$ фаза, расположена вокруг кристаллов первичного кремния, а также в матричном пространстве между кристаллами первичного кремния.

Статистическое распределение включений кристаллов первичного кремния по размерным рядам приведено на рис. 2.

Условная граница дисперсности кристаллов первичного кремния (не выше 30 мкм), достижима в образце толщиной 20 мм с кумулятивным процентом соответствия 97,92% включений, при толщине стенки 12 мм – 99,72% , и в образце толщиной 6 мм кумулятивный процент составил 100%.

Приведенные выше данные по среднему размеру включений при разных скоростях охлаждения и статистической обработке по определению доли размерного ряда кристаллов первичного кремния в заэвтектическом силумине $AlSi19Cu1$ создают достаточные предпосылки применения такой технологии получения заэвтектического силумина, узкий размерный диапазон дисперсных кристаллов первичного кремния при использовании данного типа технологиче-

ской обработки определяет его как наиболее перспективным для построения технологического процесса изготовления сплава для деталей ответственного назначения, таких как поршни, гильзы цилиндров, монолитные блоки цилиндров.

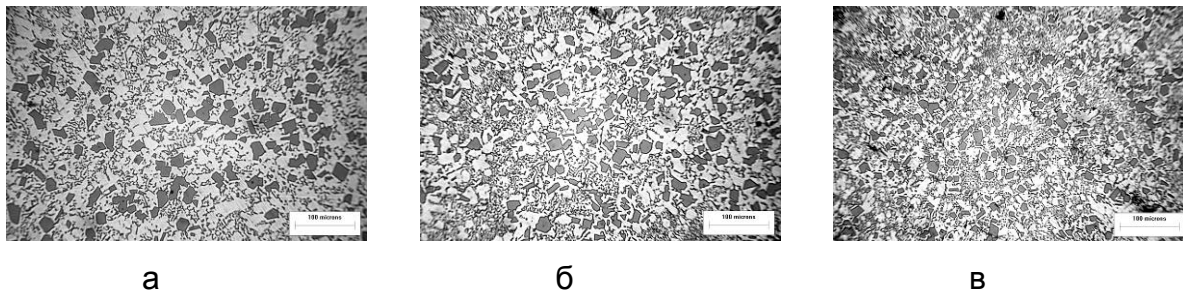
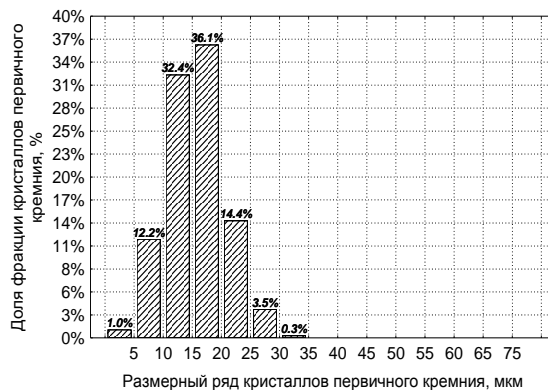
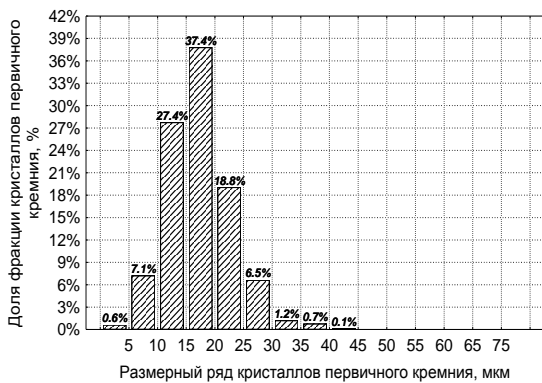


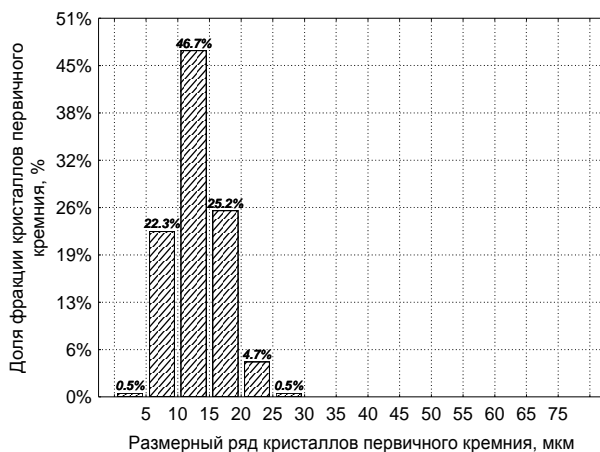
Рисунок 1 - Микроструктура заэвтектического силумина АК19М1 выплавленного с применением мастер-сплава в зависимости от скорости кристаллизации

Толщина образца: а-20мм; б-12мм; в-6мм



а

б



в

Рисунок 2 - Доля размерного ряда кристаллов первичного кремния в заэвтектическом силумине АК19М1 выплавленного с использованием мастер-сплава АК40МЗФ. Толщина образца: а-20мм; б-12мм; в-6мм

УДК 621.74.043:669.715:620.186

Г. П. Борисов, А. М. Недужий, А. Г. Вернидуб

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

Тел./факс.: 0444246823, e-mail: mob_sim@ukr.net

ТИКСОЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7ч З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАГОТІВОК З РІЗНОЮ ВИХІДНОЮ СТРУКТУРОЮ ПЕРВИННОЇ ФАЗИ

Тиксолиття та тиксоштампування на сьогоднішній день є прогресивними технологічними процесами, які займають одне з пріоритетних місць серед методів виготовлення високоякісних виливків із частково закристалізованих (твердо-рідких) алюмінієвих сплавів. Загальна кількість твердої фази в залежності від особливостей конкретного процесу при формоутворенні виливків може становити від 40 до 90%. Тиксотехнології в порівнянні з традиційними методами виготовлення литої металопродукції мають значні переваги. Так, зокрема, ефективність технологій тиксоформування полягає у зменшенні мінімальної товщини стінок виробу при одночасному підвищенні їх герметичності, зниженні маси деталі, суттєвому збільшенні продуктивності виготовлення виливків, зменшенні числа ступенів механічної обробки та кількості дефектів при збереженні високої якості поверхні без зростання собівартості виробництва [1].

Метою досліджень було встановити морфологію структури первинної фази, що утвориться у кінцевих виливках після тиксолиття з використанням заготовок з попередньо підготовленою в них дендритною, розеткоподібною та глобулярною структурою.

Для проведення експериментальних досліджень з тиксолиття попередньо, за спеціальними технологічними режимами [2] і іншими умовами, було відлито циліндричні, середнім діаметром 45 мм, заготовки із ливарного алюмінієвого сплаву марки АК7ч з різними вищевказаними типами морфологій структур первинної фази. Вага таких заготовок складала 200 – 240 г. Далі, ці заготовки з різною вихідною структурою нагрівали двоступінчатим режимом до їх двофазного стану. З метою регулювання співвідношення заданої частки твердої та рідкої фаз в заготовках, перед нагріванням в їх центрі та біля краю були встановлені термопари типу К. При досягненні необхідної температури твердо-рідкої

заготівки та незначної витримки при цій температурі, заготівку за допомогою теплоізолюваних обтискних кліщів транспортували до прес-форми. Після закладання заготівки у попередньо прогріту і змащену прес-форму, на спеціальній установці [3] здійснювали процес тиксолиття. В результаті, одержували вилівок, що представляв собою зразок для механічних випробувань з надливною частиною у вигляді прес-залишка і нижнього диска з системою промивників. Після проведення механічних випробувань литих зразків, із робочої частини останніх вирізали темплети та виготовляли шліфи для проведення металографічних досліджень. Мікроструктуру сплаву досліджували в центральній частині зразка, на відстані 0,5 радіусу від центра, та в приповерхневій зоні зразка.

Проведеними дослідженнями встановлено, що після лиття заготівок з вихідною дендритною структурою, результуюча структура у виливку залишалася у всіх випадках дендритною, але при цьому вона мала вигляд переважно підплавлених дендритів, бічні гілки яких дещо позливалися між собою. При цьому, на шліфах також спостерігали окремі фрагменти та уламки дендритів, які були теж підпавлені, а незначна кількість дендритів мала вигляд деформованих і викривлених. В результаті тиксолиття з використанням заготівок з вихідною розеткоподібною структурою, остання у кінцевому виливку у всіх випадках була недендритною і дуже схожою на глобулярну. Після тиксолиття заготівок з попередньо підготовленою глобулярною структурою первинної фази, у виливку утворилася також недендритна структура, що була близькою до глобулярної, але при цьому деякі глобулі дещо позливалися між собою. Попередні значення механічних властивостей сплаву в одержаних зразках після тиксолиття з використанням заготівок з різними вищевказаними типами структур були наступними: $\sigma_B = 155 - 203$ МПа та $\delta = 2,8 - 5,2\%$.

Таким чином, встановлено, що в процесі тиксолиття заготівок з підготовленою розеткоподібною морфологією структури первинної фази відбувається покращення вказаної вихідної морфології структури заготівки до глобулярної, що формується у кінцевому виливку. Припускається, що це може бути наслідком процесу екструзії, яка відбувається під час заповнення порожнини прес-форми частково закристалізованим алюмінієвим сплавом заготівки.

Список літератури

1. *Семенов Б. И., Куштаров К. М.* Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – 223, [1] с. : ил., цв. вкл. 8 с.

2. *Недужий А. М.* Особливості зміни морфології структури первинної фази при кристалізації алюмінієвих сплавів. // *Металознавство та обробка металів.* – 2015. – №2. – С. 24 – 29.

3. *Головаченко В. П., Шнитко В. К., Борисов Г. П., Вернидуб А. Г.* Жидкофазное формирование изделий из порошковых алюминиевых сплавов методом импульсного прессования. // *Процессы литья.* – 1999. – №3. – С. 66 – 69.

УДК 669.162.275:669-154

В. Б. Бубликов

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ В ПЕРЕДКРИСТАЛІЗАЦІЙНОМУ ПЕРІОДІ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ВИЛИВКІВ ІЗ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

На підприємствах України діють застарілі технології отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом модифікуванням у відкритих ковшах магнієвмісними лігатурами, яке супроводжується значним викидом шкідливих речовин у повітря (згорає 65-75 % магнію, що вводиться в рідкий чавун). Такий процес модифікування характеризується певною нестабільністю, що призводить до епізодичної дефектності виливків по структурі. В тонкостінних виливках утворюється структурно-вільний цементит (відбіл), для графітизації якого застосовують енергоємну термічну обробку (відпал при температурі 920...950 °С протягом 6...10 год). Наукові розробки ФТІМС НАН України свідчать, що при використанні якісних шихтових матеріалів з вмістом сірки 0,015...0,020 % і застосуванні високоефективних екологічних методів модифікування Fe-C-Si розплаву в передкристалізаційному періоді дозволяє запобігти утворенню структурно-вільного цементиту, подрібнити включення кулястого графіту, отримати переважно феритну металеву основу і підвищені технологічні, механічні і експлуатаційні властивості литих виробів із високоміцного чавуну.

До головних чинників, які визначають хід кристалізації і структуроутворення, поряд з модифікуванням, належать хімічний склад високоміцного чавуну і швидкість охолодження виливка. Основними графітизуючими елементами є вуглець і кремній. Найбільшою мірою графітизуючий вплив вуглецю у високоміцному чавуні проявляється при максимальному його вмісті 3,7...4,0 %. Для дослідження впливу швидкості охолодження відливали технологічну пробу з товщинами ступеней від 10 до 2 мм, що відповідало охолодженню зі швидкістю від 1,6 до 15,0 °C/с.

Дослідження впливу кремнію в межах від 2,0 до 3,0 % на структуроутворення в ступінчатій пробі показало, що при вмісті у високоміцному чавуні 2,0 % кількість цементиту в структурі ступеней товщиною 2,0 мм складає 15 %, а в ступені товщиною 3,0 мм – 5 %. При вмісті у високоміцному чавуні 2,5 і 3,0 % Si структурно-вільний цементит не утворюється навіть в структурі найтоншої ступені товщиною 2,0 мм. В тонких перетинах (2...3 мм) при вмісті 2,5...3,0 % Si густина включень кулястого графіту складає 1600...1500 шт/мм², в більш товстих перетинах (5...10 мм) – 1200...800 шт/мм².

При вмісті у високоміцному чавуні 2,5...3,0 % Si в структурі ступеней товщиною від 3,0 до 10,0 мм забезпечується отримання переважно феритної металевої основи. Механічні властивості високоміцного чавуну, модифікованого у передкристалізаційному періоді, визначали на розривних зразках діаметром 5 мм, виготовлених з стінок виливків товщиною 10 мм. При вмісті вуглецю 3,7...3,9 %, кремнію 2,5...3,0 %, марганцю 0,30...0,35 % мікроструктура виливків складалась з включень кулястого графіту (ССГ = 90...95 %) з щільністю розподілу 500...650 шт/мм² і ферито-перлітної металевої основи (85...94 % фериту). Механічні властивості мали наступні значення: $\sigma_b = 530...560$ МПа, $\delta = 12...16$ %, твердість 170...207 НВ.

Експериментально встановлена висока графітизуюча і інокулююча здатність модифікування в передкристалізаційному періоді дозволяє вирішити завдання отримання з високоміцного чавуну виливків з мінімальною товщиною стінки 2,5...3,0 мм без відбілу. В традиційних технологіях ковшового модифікування мінімальною для отримання без відбілу вважається стінка виливка товщиною 5 мм.

Отримані наукові результати і встановлені параметри процесу модифікування в передкристалізаційному періоді відкривають перспективу розроблення нових екологічних ресурсозберігаючих технологій отримання із високоміцного

чавуну литих виробів меншої металоємності і з підвищеним комплексом технологічних, механічних і спеціальних властивостей.

УДК 621.74.02:669.13

В. Б. Бубликов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

В последние годы высокопрочный чугун с шаровидным графитом по объему производства и разнообразию сфер применения занимает лидирующую позицию среди других литых конструкционных материалов. В технологически развитых странах сокращается выпуск отливок из стали и серого чугуна, а выпуск отливок из высокопрочного чугуна даже в условиях кризиса, охватившего мировую экономику, ежегодно увеличивается на 2-3 %. Прогресс машиностроения базируется на применении новых материалов, обеспечивающих повышение конструкционной прочности и эксплуатационных свойств изделий современной техники. Так фирмой Georg Fisher GmbH, которая обеспечивает отливками из высокопрочного чугуна ведущих мировых производителей автомобилей, разработаны новые сверхпрочные чугуны с шаровидным графитом под названием Sibodur с повышенными, по сравнению с стандартными марками, показателями прочности (σ_B , МПа) и пластичности (δ , %), в частности Sibodur 450-17 и Sibodur 750-10. Очевидно, что основой получения указанного сочетания прочности и пластичности является применение исходного расплава требуемого качества, в первую очередь, по содержанию серы (менее 0,015 %) и фосфора (менее 0,05 %), что требует соответствующих шихтовых материалов.

Постоянство металлургического качества расплава от плавки к плавке и условий проведения модифицирующей обработки являются основополагающими факторами стабильного получения высококачественных отливок из высокопрочного чугуна.

С целью получения сравнительных данных по уровню механических свойств высокопрочного чугуна, выплавленного из ряда шихтовых материалов (в том числе металлоотходов) и модифицированного лигатурой ФСМг7, исполь-

зовали армкожелезо, чушковые чугуны рафинированные и обычного качества, отходы низкосернистых сталей (Э12, 11ЮА, 08кп). Анализ полученных данных показал, что лучшими шихтовыми материалами для производства высокопрочного чугуна с высоким уровнем пластичности являются рафинированные внепечной обработкой литейные и передельные доменные чугуны, а также отходы электротехнических и других сталей с пониженным содержанием серы (0,008-0,015%). По отношению к плавкам на шихте из армко-железа ($\sigma_b > 480$ МПа, $\delta > 24$ %), которые рассматривались в качестве эталонных по чистоте от вредных примесей, в плавках на шихте из рафинированного продувкой магнием чугуна ЛР6 σ_b повышается до 510 МПа, из передельного чугуна высшего качества ПВК-3 – до 580 МПа, из электротехнической стали Э12 и графита – до 650 МПа, при относительном удлинении, соответственно, 19,2; 16,8; 16,6 %. Для сравнения, в плавках на шихте из чушковых чугунов обычного качества с содержанием серы 0,030-0,035 % относительное удлинение высокопрочного чугуна снижается до величины 6-8 % (в 2-3 раза). При использовании в шихте стальных отходов обычного качества в количестве 40-50 % с содержанием серы 0,04 % снижается степень сфероидизации графита, повышается склонность высокопрочного чугуна к отбелу и образованию усадочной пористости, увеличивается количество перлита, повышается прочность и твердость, снижается пластичность, ухудшается обрабатываемость резанием.

Применение низкосернистого расплава повышает эффект модифицирующего воздействия на структурообразование и свойства высокопрочного чугуна, способствуя повышению степени сфероидизации графита, снижению склонности тонкостенных отливок к отбелу, уменьшению усадки, увеличению доли феррита в металлической основе, уменьшению твердости, повышению пластичности.

Относительно дешевым шихтовым материалом являются стальные отходы подходящего химического состава, главным образом обрезь холодной штамповки. Их применение в шихте при плавке высокопрочного чугуна позволяет уменьшить расход дорогостоящих доменных чушковых чугунов. Благоприятное сочетание прочностных и пластических свойств высокопрочного чугуна обеспечивается при использовании в шихте отходов сталей 11ЮА, 08кп, электротехнической стали и некоторых других.

УДК 621.746:669.112

В. Б. Бубликов, Е. П. Нестерук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел.: (044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@yandex.ua

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ПРОТОЧНЫХ РЕАКТОРАХ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Энергетически эффективные и ресурсосберегающие технологии заслуживают особого внимания, поскольку расходы на энергию и сырье в литейном производстве составляют больше половины суммарных расходов. Технически и экономически целесообразным является широкое применение деталей из высокопрочного чугуна вместо деталей из стали, ковкого чугуна и цветных сплавов. Применение высокопрочного чугуна обеспечивает получение значительной экономии за счет снижения массы готовых изделий, уменьшения механической обработки, снижения производственных расходов, увеличения производительности, надежности и долговечности машин и оборудования. Эффективным путем экономии материальных, энергетических и других видов ресурсов при производстве отливок из высокопрочного чугуна является применение модифицирования в проточных реакторах, расположенных в литейной форме. Сближение во времени процессов модифицирования и кристаллизации стимулирует зарождение дополнительных центров кристаллизации (инокуляцию), обеспечивает более высокий уровень сфероидизации графитовых включений и эффективно предотвращает образование отбела в структуре тонкостенных отливок. При таком ходе кристаллизации в отливках формируется измельченная структура с феррито-перлитной металлической основой. Модифицирование в предкристаллизационном периоде обеспечивает получение облегченных тонкостенных отливок с толщиной стенок от 3 до 10 мм без структурно-свободных карбидов с повышенным уровнем механических свойств. При этом, в сравнении с традиционным методом модифицирования в ковше, расход ферросилиций-магниевого лигатур снижается в 2-3 раза. Экономится также ферросилиций, за счет ликвидации операции вторичного модифицирования. На 100-120 °С снижается температура модифицирования и, следовательно, температура перегрева расплава в печи, что обеспечивает соответствующее снижение расхода электроэнергии. Наиболее значительная экономия энергоресурсов обеспечивается в ре-

зультате ликвидации операции отжига отливок, которая является обязательной для большинства технологий ковшового модифицирования. Значительно уменьшаются капитальные затраты на строительство цехов высокопрочного чугуна, т. к. отпадает необходимость в производственных площадях для термического отделения, дополнительных ковшах для модифицирования, вентиляционных системах для отсоса продуктов модифицирования и др. Обрабатываемость резанием высокопрочного чугуна, полученного модифицированием, в проточных реакторах литниковых систем находится на уровне чугуна с пластинчатым графитом. Технология обеспечивает устранение термической обработки, снижение расхода электроэнергии на 300-400 кВт/час при производстве 1 т отливок. По сравнению с ковшовым модифицированием улучшается экологическое состояние окружающей среды, обусловленное отсутствием выбросов в атмосферу оксидов магния и других вредных веществ.

УДК 621.74.002:669.001.2

А. А. Бурбелко, Т. Виктор, М. Карбовничек

AGH Научно-технический университет

Краков, Польша

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ РАЗЛИВКИ МНЛЗ

При использовании трехплитных шиберных затворах для регулирования расхода расплава в системах разлива стали на МНЛЗ существует опасность подсоса воздуха в движущуюся струю. Подсос воздуха оказывает негативное влияние на качество получаемой заготовки (особенно при разливе вакуумированной стали), а в случае разлива стали с повышенным содержанием алюминия дополнительно вызывает зарастание просвета погружного стакана, снижая его эксплуатационную стойкость [1].

Разрежение газа в погружном стакане объясняется эжектирующим действием струи стали, вытекающей из промковша. Как следует из результатов промышленных экспериментов [2], уровень давления во внутренней полости погружного стакана может непосредственно подтверждает возможность подсоса газа из окружающей среды в поток жидкой стали.

У входа в стакан-дозатор давление в жидкой стали соответствует металлостатическому давлению столба, высота которого равна уровню стали в промковше. Несмотря на увеличение высота столба жидкой стали по мере продвижения от промковша до кристаллизатора, давление в жидкости уменьшается, что связано, главным образом, с изменениями скорости потока (в соответствии с уравнением Бернулли). Точный анализ изменения давления в системе с учетом металлостатического давления на входе, расхода стали, а также изменений сечения потока возможен с использованием компьютерного моделирования. Известные коммерческие системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) [3] обеспечивают сопряженное моделирование задач теплопроводности и вычислительной гидродинамики.

В данной работе с помощью компьютерного моделирования выполнен анализ гидродинамической картины движения жидкой стали при ее подаче из промковша МНЛЗ в кристаллизатор с помощью системы «стакан-дозатор – трехплитный шибберный затвор – погружной стакан» при изготовлении квадратной заготовки 140x140 мм на машине непрерывного литья с помощью СКМ ЛП «ProCAST» (ESI Group) [4]. Расчет выполнен для диаметра просвета погружного стакана 40 мм и скорости движения заготовки 65 мм/с.

Результаты расчетов распределения давления в системе подачи жидкой стали в кристаллизатор представлены на рис. 1.

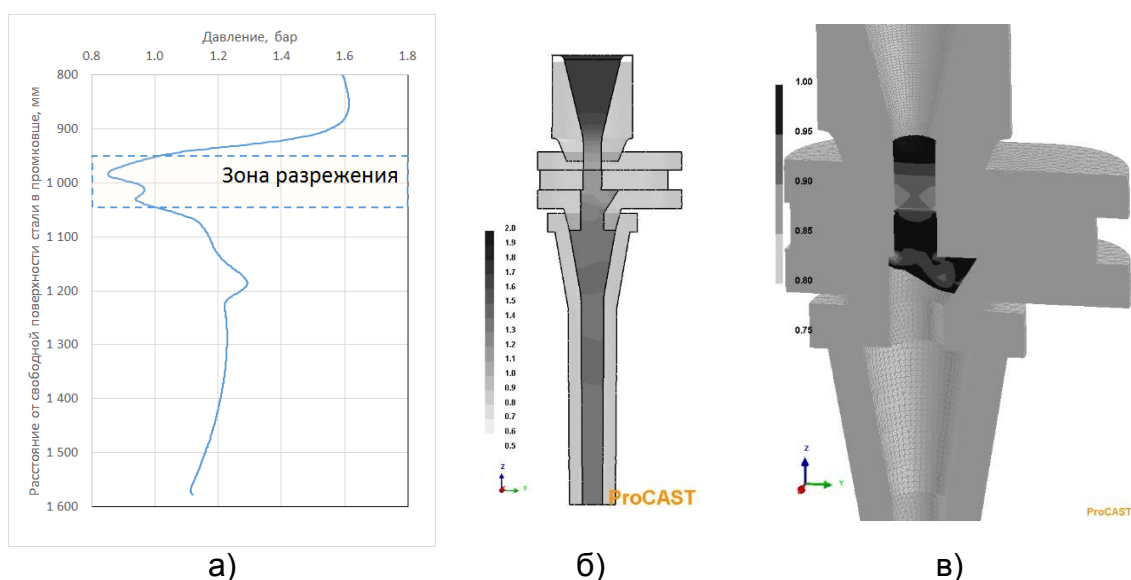


Рис. 1. Распределение давления в системе «стакан-дозатор – трехплитный шибберный затвор – погружной стакан»: а) распределение давления вдоль оси канала; б) распределение давления в вертикальном осевом сечении каналов, бар; в) вид зоны разрежения (в сечении)

Как следует из полученных данных, область пониженного давления, в которой возможна эжекция газа в струю жидкой стали, расположена в зоне ши-

берного затвора. Для предотвращения внутреннего окисления стали в данном случае можно использовать защитную атмосферу в районе плит шибера затвора.

Работа выполнена в рамках исследовательского проекта AGH НТУ № 11.11.110.225

Список литературы

1. Процессы непрерывной разливки: Монография / Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаев А.А. и др. – Донецк: ДонНТУ, –2002. –536 стр.
2. А.Н. Смирнов, А.Л. Подкорытов, Д.Н. Турунов. Повышение конкурентоспособности непрерывной разливки сортовой заготовки //Металлы и литье Украины. – 2010. –№ 6. С. 7-11.
- 3 Бурбелко А.А., Каптуркевич В. Моделирование процессов формирования структуры при кристаллизации металлов // Международная научно-техническая конференция "Современные проблемы металловедения сплавов цветных металлов": Сб. научных трудов, Москва, 1-2 октября 2009 г, Изд. Дом МИСиС. –2009, стр. 331-339
- 4 <http://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-manufacturing/casting/procast-quikcast> (4-04-2016)

УДК 669.295: 621.745: 620.17/18

М. М. Ворон, Е. А. Дрозд, Т. В. Лапшук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел./факс.: 0444242350, e-mail: e_luch@kiev.ptima.ua

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ Grade5 и Timet-10-2-3 ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ВЫПЛАВКИ

Получение фасонных титановых отливок с высоким уровнем механических свойств и регламентированной структурой является одной из важнейших задач для современной титановой промышленности, которую возможно решить благодаря технологии электронно-лучевой гарнисажной плавки (ЭЛГП) с электромагнитным перемешиванием (ЭМП) расплава. Многолетний опыт полу-

чения титанового литья данным методом показал ряд важных преимуществ, которые заключаются в высоком качестве литья и уровне механических свойств литого металла, сравнимых со свойствами деформированного металла.

В работе исследовали влияние некоторых технологических параметров плавки и литья ЭЛГП с ЭМП расплава и скорости охлаждения металла в литейной форме на структуру, фазовый состав и механические свойства в литом состоянии и после отжига для снятия напряжений на примере коммерческих сплавов Grade5 и Timet-10-2-3.

Было определено, что литой металл не имеет классической «литой» макроструктуры, прочность сплавов находится на уровне деформированного металла, пластичность Grade5 имеет необходимый уровень, а Timet-10-2-3 характеризуется хрупкостью. Для обоих сплавов установлено уменьшение количества β -фазы на 5-10 % ниже стандартного уровня. Проанализировав структуру и фазовый состав, установили, что в β -сплаве Timet-10-2-3 наблюдается развитая пограничная α -фаза на пределах первичного β -зерна, что и является причиной хрупкости.

Уменьшение количества β -фазы в литых титановых сплавах связано в первую очередь с низкой скоростью охлаждения металла в литейных формах. Существующие технологические условия ЭЛГП с ЭМП расплава способствуют получению фазового состояния, приближенного к равновесному. Избавиться от структурных недостатков литого состояния титановых сплавов, полученных методом ЭЛГП с ЭМП расплава можно за счет использования контролируемого теплоотбора, термической, деформационной обработки, а также их сочетания.

УДК 669.71:532.694:539.216

С.В. Гнилокурченко

Физико-технологический институт металлов и сплавов, г. Киев

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Разработка новых и совершенствование существующих материалов направлены, в первую очередь, на удовлетворение требований по уровню их механических и служебных свойств, необходимых при эксплуатации изделий.

Уникальной комбинацией таких свойств обладают перспективные конструкционные материалы – высокопористые металлы и сплавы с ячеистой структурой. Их малая плотность достигается за счет наличия в структуре значительного количества газовой фазы (до 98%). Поры, окруженные твердыми металлическими перегородками, формируют элементарные ячейки, которые повторяются в объеме материала, создавая газометаллический композит. Таким образом свойства этого материала предопределяются комплексом свойств как металлической матрицы, так и газовой фазы. Например удельные механические свойства высокопористого алюминия выше, чем стали, а его малый вес, негорючесть, способность поглощать энергию (механическую, тепловую) делают его незаменимым в ряде отраслей и, особенно, на транспорте.

Хотя исследование и разработка таких материалов существенно интенсифицировались в последнее десятилетие, они до сих пор не получили широкого применения ввиду высокой стоимости как методов их получения так и готовых изделий.

Краткий анализ современных направлений изучения высокопористых металлов и способов производства возможно провести, используя данные специализированных конференций в этой области. Так, с 2000 года в мире проводятся конференции «Металлические пены» (MetFoam), которые охватили Америку, Азию и Европу, а последняя, девятая, была проведена в Испании (Барселона, 2015 г.). Значимость пенометаллов подтверждается более чем 150 докладами из 30 стран и вкладом около 450 соавторов. Можно выделить следующие направления.

Физика вспенивания и его механизмы. До сих пор ведутся дискуссии о закономерностях получения вспененного состояния жидких металлов, т.к. это очень важно и с точки зрения окончательной структуры твердого ячеистого металла. Наряду с влиянием поверхностных сил, твердых включений а также оксидного каркаса в жидком металле на получение и стабильность пены, новые знания, полученные на новейшем оборудовании – 3Д синхротронных томографах позволяют углубиться в механизм пенообразования. Возможность зафиксировать явления длительностью менее 1 мсек позволили установить лавинообразный механизм разрушения металлической пленки между пузырьками и выдвинуть гипотезу о самоорганизации пеносруктуры [1].

Пены и методы вспенивания, производство ячеистых металлов. Прикладные исследования, направленные на поиск новых вспенивающих агентов

(наряду с гидридом титана – карбонатами [2], Mg (для Al сплавов), гематит, уголь, кокс – для чугуна и стали [3] и др.), несущих газовых сред, полужидких исходных расплавов для жидкостных методов производства; различных добавок (Sn, Mg, стеараты) для порошковых методов; разработку новых методов получения пенометаллов но на основе уже известных подходов (Aluinvent с введением в расплав ультрадисперсных стабилизирующих частиц и использованием акустического инжектора [4]). Остальные направления - тепло- и массоперенос, моделирование и механические свойства, синтетические 3D-структуры, ячеистые биоматериалы, вторичные операции и применение подтверждают широту исследований, но также подчеркивают необходимость поиска подходов к удешевлению получения ячеистых металлов и сплавов для их более широкого производства и внедрения.

Список литературы

1. *M. Paeplow et. all.* Coalescence avalanches in liquid aluminium foams.//Abstract book of 9th International Conference on Porous Metals and Metallic foams Technology, “MetFoam 2015”, Барселона, Испания, 2015, С.69.
2. *Byakova, S. Gnyloskurenko, T.Nakamura.* Stabilization of Liquid Aluminium Foam with Carbonate Blowing Agent, С.61, там же.
3. *T. Murakami et. all.* New manufacturing Method of Porous Iron using Powders of Hematite and Carbonaceous Materials С.43, там же.
4. *N. Babcsán et. all.* Aluinvent Aluminium Foam Can Do All and More С.65, там же.

С.И. Губенко,

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

В.Н. Беспалько,

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

В.В. Юрковский,

ОАО НПО «Трубосталь», Никополь, Днепропетровская область,

Ю.И. Балева,

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТОЙ СТАЛИ 40X25H20C2

Обсуждаются основные виды и распределение неметаллических включений в центробежнолитой стали 40X25H20C2. Показано их влияние на образование дефектов. Исследованы источники и механизм формирования трещин вблизи включений.

Качество центробежнолитых заготовок и труб во многом зависит от наличия неметаллических включений, которые могут оказывать влияние на локальные процессы формирования структуры стали, но также могут быть причиной образования различного рода дефектов, снижающих качество отливок и труб [1]. Целью настоящей работы было исследование основных видов и распределения неметаллических включений в центробежнолитой стали 40X25H20C2 и изучение их влияния на локальные процессы формирования дефектов вблизи включений.

Исследованы неметаллические включения в трубных заготовках из стали 40X25H20C2, полученных на горизонтальных машинах центробежного литья С-2 - ?1. В качестве покрытий внутренней поверхности изложницы использовали покраску, смесь кварцевого песка с пульвербакелитом и борной кислотой, а также покраску из кварцевого песка и борной кислоты. Для исследования неметаллических включений проводили отбор металла соответственно 5, 30, 70 и 95% от наружной поверхности и отливки. Идентификацию неметаллических включений проводили несколькими методами: металлографический; петрографический, микрорентгеноспектральный, рентгеноструктурный.

Макроструктурный анализ отливок показал, что вблизи наружной поверхности часто присутствовали вкрапления песка глубиной до 2...3 мм, вблизи внут-

ренной поверхности нередко наблюдали рыхлость глубиной до 3...5 мм. В этих зонах присутствовали различные неметаллические включения как экзогенного, так и эндогенного происхождения. В случаях использования в качестве покрытия внутренней поверхности изложницы песчаных смесей встречаются участки с грубыми экзогенными включениями, вблизи которых возникли трещины кристаллизационного происхождения.

Исследовали эндогенные неметаллические включения в центробежнолитой стали 40X25H20C2, которые неравномерно распределены в заготовке. Изучены особенности двух типов этой неравномерности: в объеме отливки и в пределах дендритной структуры. Неравномерное распределение включений в дендритной структуре связана с возникновением турбулентных потоков в расплаве. Неравномерное распределение включений в различных зонах заготовки связано с моментом их образования в жидкой стали, а также способностью к всплыванию во вращающемся расплаве.

Для внутренних зон отливок в местах скопления неметаллических включений характерно образование дефектов - трещин, которые связаны с присутствием грубых шлаковых включений. Кроме того, в этих же участках отливок возникают микротрещины в местах скопления эндогенных включений,

Механические испытания показали, что при одинаковой макроструктуре отливки неметаллические включения оказывают существенное негативное влияние на уровень прочностных и пластических характеристик. В зонах заготовки вблизи ее внутренней поверхности со столбчатой макроструктурой увеличение загрязненности стали эндогенными включениями привело к снижению прочностных свойств на 15...18%, пластических – на 18...21%. Если к негативному влиянию эндогенных включений добавилось влияние шлаковых включений, то снижение свойств было соответственно на 20...27% и 23...30%. В зонах заготовки вблизи ее наружной поверхности со смешанной макроструктурой увеличение загрязненности стали экзогенными включениями (песок) привело к снижению прочностных свойств на 25...30%, пластических – на 22...27%.

Список литературы

1. Юдин С. Б., Левин М. М., Розенфельд С. Е. Центробежное литье. - М.: Машиностроение, 1972. – 415 с.

В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЕГКОВЕСНЫХ ОТЛИВОК НА ОСНОВЕ
КОНЦЕПЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИХ МОДЕЛЕЙ С ДВУМЯ ТЕКУЧИМИ СРЕДАМИ:
МЕТАЛЛОМ И ПЕСКОМ**

Современная макроэкономика показывает глобальное падение цен на сырьевых рынках, включая нефть и металлургическую продукцию. При этом экономика Китая показала, как одним рывком за 30 лет можно достичь того, к чему США шли столетие, и замедлила свой рост, что выглядит как переход к технологической экономике, требующей больше квалифицированных людских ресурсов и меньше сырья. Как отметил Нобелевский лауреат Robert Solow, для цифровой эры характерна гонка технологий и образования. Эти плохие новости для продавцов сырья являются хорошими для инвесторов в технологии. К тому же рост экономики Китая не мог не отразиться на экологии страны, и развитие технологии должно уменьшить загрязнение окружающей среды. Человечество пока не придумало чего-то кардинально нового, на что можно тратить новое сырье. И станок, и самолет, и автомобиль, и корабль уже есть. Все, что происходит сейчас в машиностроении, - это лишь апгрейд и цифровизация (digitations) существующего [1].

Моделирование процесса литья сегодня выходит на уровень стратегического инструмента для оптимизации технологии и улучшения качества продукции. Один из методов конструирования легковесных отливок - это копирование в металле отобранных эволюцией конструкций природы как неисчислимы примеров совершенства и ресурсосбережения. Метод предложен на базе процесса ЛГМ. При этом формообразование отливки моделируют в концепции совместного влияния на ее конструкцию (с учетом расположения в форме) таких двух текучих сред, как заливаемый металл, замещающий литейную модель изнутри, и подвижная песчаная среда, обтекающая поверхность модели снаружи при последующем создании оптимальной прочности песчаной формы. С помощью математического и компьютерного моделирования предложены легковесные ячеистые конструкции литых металлоизделий по аналогам строения микроструктур твердого вещества, отдельных биологических структур и нано-

материалов при физическом моделировании их из газонаполненных углеводородных полимеров.

Если при применении автоматизированных методов проектирования трехмерная математическая модель отливки недоступна, часто из-за коррекции оригинальных чертежей, когда детали по мере доводки в производстве подвергаются конструктивным изменениям, то рекомендовано применять обратный инжиниринг (RE) для восстановления геометрии (идентификации) отливки. Процедура RE для получения трехмерной CAD-модели отливки, как детали оборудования включает в себя четыре этапа: предварительная оцифровка, оцифровка деталей оборудования, реконструкция поверхности и трехмерное моделирование CAD [2]. Проведенные исследования для авиационной отливки, полученной в песчаную форму, показали, что методология RE адекватна для практической реконструкции геометрии каждой отдельной части оборудования, а также всей геометрии собранной литейной формы. В литейном производстве, как и во многих других секторах, в последние годы для обмера деталей все шире применяют оптические сканеры. Основным преимуществом бесконтактного контроля качества является то, что внешняя геометрия оснастки или отливки может быть полностью обследована в короткие сроки путем извлечения координат сотен тысяч точек. На примере коррекции – «выравнивания» осей вращающихся валов (alignment operation) по данным сканирования для компьютерного обследования показано, что эта операция является решающей для обеспечения качества продукции при высокой точности данных сканирования [3].

Список литературы

1. Юрасов С. Уроки Давоса // ЛигаБизнес, 27.01.2016. http://ukrrudprom.ua/digest/urokiDavosa_2016.html
2. Salmi A. et al. Combined reverse engineering and CAD approach for mould modeling in casting simulation // International Journal of Cast Metals Research. V. 27, № 4. - 2014. – P. 213 - 220.
2. Minetola P. et al. Contactless inspection of castings: analysis of alignment procedures International // International Journal of Cast Metals Research. V. 25, № 1. – 2012. P. 38-46.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ЯВЛЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ТВЕРДЕЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ЛЕДЯНЫХ МОДЕЛЕЙ

Загрязнение окружающей среды чаще всего происходит материалами чуждыми земной биосфере. Способ литья по ледяным моделям (ЛЛМ) служит примером малоотходных процессов литья металла по разовым моделям без органических материалов в соответствии с идеей подражания циклическим природным процессам. При ЛЛМ агрегатные переходы воды - из жидкого в твердое при замораживании ледяной модели (ЛМ), опять в жидкое при плавлении ЛМ и удалении из литейной формы, а затем испарение влаги при сушке песчаной формы - в чем-то подобны кругообороту воды в природе. Развитию криотехнологий, в свою очередь, способствует совершенствование холодильной техники, сделавшее холод доступным в больших масштабах с широкими возможностями использования низких температур для различных процессов, включая изменение агрегатного состояния вещества.

Важное значение для ЛЛМ имеет порошковая краска (ПК) с добавками гипса и (или) цемента, твердеющая на ЛМ в контакте с водой. ПК удерживается на ЛМ поверхностным электростатическим зарядом, появляющимся на стенках ЛМ при 10-15 °С ниже нуля [1]. Нанесение ПК (1-3 слоя) на ЛМ сопровождалось конденсацией пара из окружающего воздуха на поверхности охлажденного контактом с ЛМ слоя ПК (при температуре ниже точки росы). Кубический метр воздуха содержит (в зависимости от влажности) 4-25 г водяных паров. Естественную конденсацию пара мы наблюдаем дома на кухне, когда вынимаем из холодильника кастрюлю с блестящей поверхностью, которая сразу запотеваает и становится матовой от водяной пленки. При +20 °С воздух с влажностью 30%, 60% и 90% имеет соответственно точку росы (°С) +1,9; +12,0; +18,3. Для ускорения увлажнения ПК повышали влажность воздуха распылением у поверхности ПК аэрозоля в капельно-жидкой дисперсной фазе [1]. Если поверхность охлаждена ниже температуры замерзания воды, то при охлаждении ПК ниже точки инея влага из воздуха осаждалась на ней в виде инея (замороженной росы). Этот вариант способа применим для получения замороженного покрытия на ЛМ по принципу замо-

роженной формы. Точка инея - температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, становится насыщенным по отношению к поверхности льда. В природе иней осаждается вследствие десублимации прямо из газообразной фазы в твердые кристаллы, минуя фазу жидкой воды. Для инея самое подходящее место расположения - шероховатая поверхность материала с низкой теплопроводностью, например, паутина (рис. 1). Если пар из воздуха осаждается через жидкую фазу, то получаются наледи, гладкие и "стеклянные" (рис. 2), которые образуются на той же паутине в естественных условиях или при изготовлении ледяных скульптур – сеток. Лед, обладая высокой прочностью, становится несущей основой, удерживая сетку большого веса. Такой принцип нанесения влаги на ПК, подобный образованию росы, инея или наледей служит примером применения природных процессов в технологии ЛЛМ для получения твердеющей ПК в контакте с ЛМ или оболочковой формы.



Рис. 1. Осаждение инея на паутине.



Рис. 2. Образование наледи на паутине и пример распиленной оболочки.

Список литературы

1. Патент № 88304 України, МПК В22С 7/00. Спосіб нанесення покриття на охоложену модель / О. Й. Шинський, В. С. Дорошенко - Опубл. 2009, Бюл. 19.

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ЛИТЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ПО МЕТОДУ СЕРИЙНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СКУЛЬПТУР

Крио-технологии формовки разрабатываются для решения задач экологизации и снижения ресурсоемкости процессов точного литья. Литье по ледяным моделям (ЛЛМ) относится к высокотехнологичным процессам и пока не применяется на практике в основном из-за трудности смены стереотипов. В частности, это связано с рядом нетрадиционных для литейной практики вопросов, как обеспечить крупносерийное производство ледяных моделей, использовать фильтрационную формовку, самопроизвольную капиллярную пропитку при удалении ледяной модели, упрочнении песчаной оболочки с гидратационными (кристаллогидратными) вяжущими и т.п. [1]. Между тем, уже отработано изготовление ледяных скульптур в больших количествах. Согласно репортажу в Интернет [2] показано, как летом 2014 г. бразильский скульптор Nele Azevedo одноразово разместила 5000 фигурок мужчин и женщин изо льда на лестнице площади Чемберлена в Бирмингеме, Англия (рис.1). Акция служила напоминанием о погибших в Первой мировой войне. Ледяные фигуры, посаженные на ступеньках, таяли на солнце, а вода стекала по ступенькам, как бы изображая кровь убитых людей. Скульптор провела уже около десяти таких акций в разных городах мира - выставление на воздухе тысяч ледяных скульптур в ознаменование исторических или экологических событий.



Рис. 1. 5000 ледяных скульптур, выставленных на лестнице в Бирмингеме.

Когда мы видим в продуктовых супермаркетах многометровые ряды морозильных шкафов и бонет с замороженными продуктами размерами от горошины до мясной туши, то это дает основание полагать, что таких же размеров и температуры ледяные модели можно производить в цехе ЛЛМ. Обычно на производство 1 т льда в блоках расход электроэнергии составляет до 100 кВт·ч. Замораживание ледяных моделей на 1 т отливок массой 1 кг из железоуглеродистых сплавов требует до 50 кВт·ч электроэнергии. Модели состоят из воды на >95%. Возможность получения оболочковой формы путем послойного нанесения на ледяную модель порошкового покрытия и (или) фильтрации расплава модели сквозь песчаную смесь с кристаллогидратами вовлекает в формовочные процессы два сравнительно новых физико-химических механизма, дающих существенные преимущества по сравнению с действующими процессами литья по разовым моделям. На рис. 2 показаны фигурка Н. Азеведо, а также примерно такого же размера ледяные модели, выполненные во ФТИМС НАНУ, включая модель барельефа Мефистофеля.

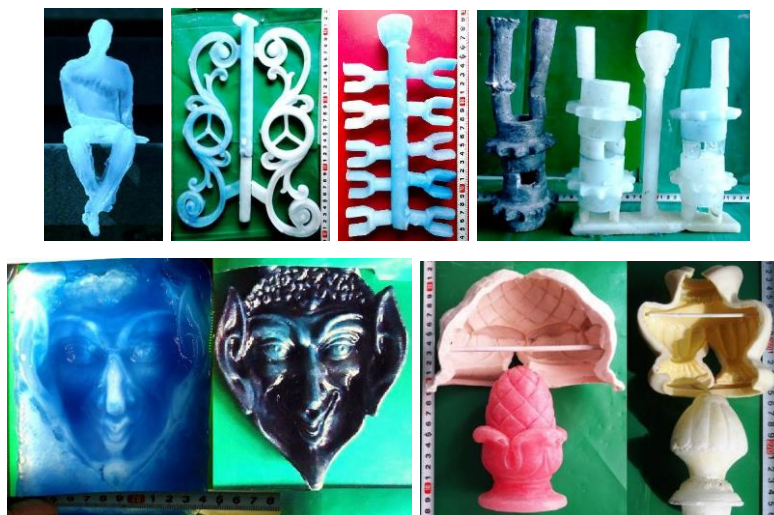


Рис. 2. Фигурка Н. Азеведо и ледяные модели, выполненные во ФТИМС НАНУ.

Список литературы

1. *Дорошенко В. С.* Самопроизвольные процессы, реализуемые в условиях градиентов термодинамических и физико-химических характеристик литейной формы // *Металл и литье Украины* – 2016. - №1. – С. 18 - 22.
2. 5000 маленьких человечков из льда в память о жертвах Первой мировой войны. 07.08.2014. <https://4tololo.ru/content/6368>.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВЫЖИГАНИЮ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНОЙ МОДЕЛИ В ВАКУУМИРУЕМОЙ ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ

Процесс литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) из пенополистирола (ППС) по точности отливок близок к литью по выплавляемым моделям, а по экономичности сравним или превосходит литье в сырые песчаные формы. Однако науглероживание нержавеющей и низкоуглеродистых сталей, а также повышенное давление продуктов газификации модели в полости формы нередко вызывают дефекты, в частности, в отливках из указанных сплавов и тонкостенных. Как удалить ППС-модель при ЛГМ (хотя бы частично) в вакуумируемой форме и понизить давление газов в форме? Давайте рассмотрим такую форму как пылесос, который, упрочнив вакуумом песчаные стенки вокруг модели, способен «всосать» в поры песка материал модели в жидком или газообразном виде. Если в модели выполнить каналы, а они будут примыкать к поверхности формы и завершаться вентилями, не пропускающими песок, то по ним можно откачивать газы при заливке металла. А вентили можно изготовить из легкоудаляемого материала, в частности, газопроницаемой ткани, ППС (пат. 81013 UA), например, заодно с моделью по фигурной поверхности модели. Если газы отсасывают при выжигании модели до заливки, то вентили выполняют в виде стержней, примыкающих снаружи к поверхности модели. Каналы в модели выполняют прожиганием проволокой из нихрома, или механической деструкцией (пат. 91224 UA), или из трубок из ППС или полипропилена (пат. 80656 UA). Так создают направленную пористость модели с вентилями в тех местах, куда откачивают газы газифицируемой модели по каналам, сообщенным с металлом или факелом горелки. На рис. 1, 2 показаны модели 1, с каналом 2 в виде трубки или отверстия, закрытого вентилями 3, стояк 4 (в варианте) выполнен с полостью 5. На рис. 3 показаны приставная к модели 1 вента 2, канал-выпор 3, полости питателя 4 и стояка 5. Каналы в виде отверстия с вентилями могут выполнять конусными при изготовлении модели в пресс-форме с конусной вставкой. Разо-

вые модели выполняют из ППС спеканием гранул ППС в пресс-форме или из льда замораживанием водной

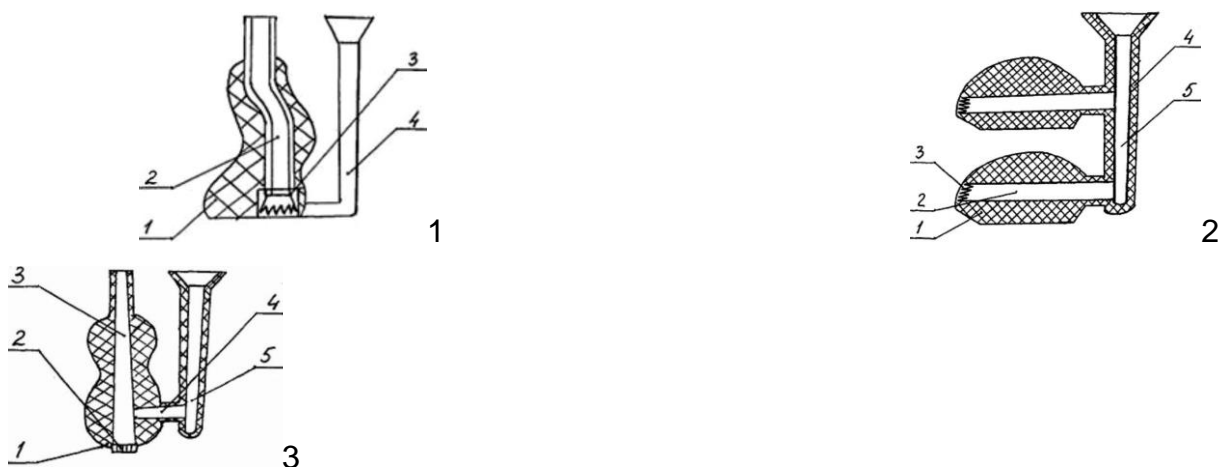


Рис. Конструкции моделей с каналами и вентилями.

композиции в пресс-форме. Затем вентиляционные каналы освобождают от формирующих вставок. Смыкание двух каналов показано на рис. 3, а тонкая фильтровальная бумага, или х/б ткань в виде венты 2 наклеена на дно канала 3 модели 1, или вента 2 является приставленным к каналу 3 газопроницаемым песчаным стержнем, а канал 4 примыкает к каналу 3 и к каналу 5 после приклеивания к модели 1 стояка. При заливке металлом по ЛГМ-процессу с одной стороны, полости каналов (рис. 1 и 3) сообщены с атмосферой, что снимает избыток давления газа и подает воздух для горения, окисляя углерод, с другой стороны, через венту металл подвергается действию вакуума формы, увеличивая скорость заполнения расплавленным металлом формы.

В случае (рис. 2) при заливке металл подвержен вакуумному всасыванию, что устраняет недоливы формы. В случае выжигания модели из полости формы перед заливкой используют поток газа вдоль канала к венте так, что над каналом стояка и выпора ставят источник тепла, например, факел горелки. Для крупных моделей и каналов ацетиленовую горелку постепенно опускают в канал. Пламя засасывается в канал модели и ее выжигает, а продукты деструкции модели впитываются в поры песчаной стенки полости формы (далее в вакуумную систему цеха), частично конденсируются и укрепляют ее аналогично вакуумно-пленочной формовке. Краска низкой газопроницаемости с модели герметизирует полость формы. При выплавке ледяной модели поток по каналу воздуха из атмосферы цеха вместе с теплом песка с температурой ~ 20 °С пла-

вит эту модель, освобождая полость для заливки. Вакуумом формы направляют поток теплоносителя, упрочняют песок и изолирует газы от воздуха цеха. Пат. 80656 UA имеет 8 вариантов применения, рекомендован для лопаток ГТД с выжиганием ППС по продольному каналу вдоль модели (в течение до 1-3 мин.) непосредственно перед заливкой в вакуумируемую форму. Нагревается форма, не требуется перегрева металла на газификацию ППС. Короткий цикл выжигания не дает эрозии формы от потока газа и устраняет науглероживание.

УДК 621.74.045 /681.3

В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

КОНЦЕПЦИЯ ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ФОРМ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

Среди актуальных задач литейного производства - снижение материалоемкости и рост ресурса литых деталей при сокращении материальных, энергетических затрат и уменьшении экологической нагрузки на окружающую среду. Производству тонкостенных отливок часто сопутствуют дефекты типа спаев и недоливов. Ряд сложностей привносит применение спецвидов литья. При ЛГМ-процессе на газификацию модели уходит тепло металла, что ведет к необходимости перегрева расплава под заливку не менее на 30-50 °С в отличие от пустотелой формы, а также на формозаполняемость влияет давление газов и остатков жидкой фазы, что часто вызывает необходимость применять давление при ЛГМ [1]. Решению вопросов металлосбережения способствуют исследования под рук. проф. Шинского О. И. по теме «Разработка научных и технологических основ создания литых конструкций из черных и цветных сплавов, оптимальных процессов их получения и автоматизированных методов проектирования», направленные на сочетание точных видов литья с достижениями в области высокопрочных сплавов в процессе автоматизированного конструирования литых деталей малой металлоемкости.

Моделируя формозаполняемость с точки зрения топологии, в частности при заливке жидкого металла литейной формы, аппроксимируем область заполняемого металла, идентифицируя ее областью Вороного. Область Вороного

- это, в общем случае, область n -мерного пространства, а в нашем случае – трехмерное пространство полости литейной формы [2]. Понятие такой области было введено украинским математиком Г.Ф. Вороным в 1908 г. в задачах топологии о параллелоэдрах - выпуклых многогранниках, рассматриваемых как тела, параллельным переносом которых можно заполнить все пространство, в нашем случае пространство литейной формы так, чтобы параллелоэдры не входили друг в друга и не оставляли между собой пустот. Разбивая пространство литейной формы совокупностью параллелоэдров и заполняя его этими параллелоэдрами в процессе математического моделирования операции заливки с помощью области Вороного, как одного из методов вычислительной геометрии, предложено рассматривать слияние струй по аналогии с решением задачи поиска ближайшего соседа в такой образной трактовке метода Вороного: «нечто расширяется в пространстве до тех пор, пока не соприкоснется с расширением себе подобного». Термин «Диаграмма Вороного» введен в теоретическую компьютерную науку в 1970-х годах. С тех пор этот объект стал настолько широко распространенным в исследованиях, связанных с геометрическими методами, что некоторые специалисты датируют рождение вычислительной геометрии этим событием. Диаграммы Вороного используются в инженерных конструкциях и дизайнерских проектах, т. к. метод Вороного разбиения определенного объема на части позволяет создавать максимально прочные структуры с использованием минимального количества материала. Дерево покрытий (Cover tree) — древовидная структура данных (*data structure* - дерево), специально разработана на основе диаграмм Вороного для ускорения поиска ближайшего соседа. Если струи заливаемого металла не заполнили полость формы (не встретили «соседа» или оставили в этой полости пустоту) с учетом факторов жидкотекучести для определенного сечения и длины стенки, канала литниковой системы формы, газового давления, гидродинамики и теплофизики процесса, то имеем дефект отливки. Диаграмму Вороного в литейных процессах предложено использовать не только в механике жидкости и кристаллохимическом анализе, но и как математический инструмент для описания структурообразования пенопластовых моделей спеканием из гранул или получения ледяных моделей, уплотнения наполнителя литейной формы, а также для мониторинга литейных процессов при их автоматизации [2].

Список литературы

1. *Дорошенко В. С.* Автоматизация изостатического прессования затвердевающей отливки при литье по газифицируемым моделям // Процессы литья – 2016.- №1. – С. 33 - 37.

2. *Кравченко В. П., Дорошенко В. С.* Кристаллизация и множество (область) Вороного // Литье-2011: Материалы VII Международной научно-практич. конф. - Запорожье: Запорож. ТПП, 2011. Т. 1. - С. 114-115.

УДК 621.74

В. С. Дорошенко, В. Ф. Смолянская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ЛИТЫМ СИЛОВЫМ КАРТЕРОМ В СВЕТЕ ТЕНДЕНЦИИ МЕТАЛЛОСБЕРЕЖЕНИЯ

Исследования по теме «Разработка научных и технологических основ создания литых конструкций из черных и цветных сплавов, оптимальных процессов их получения и автоматизированных методов проектирования» направлены на уменьшение массы металлоконструкций, в первую очередь транспортных средств. В целях идентификации базовых литых конструкций транспорта по этой теме провели анализ автотракторной техники. В частности, наиболее компактными остовами тракторов являются безрамные, в которых картер двигателя имеет несущую функцию, в отличие от рамного и полурамного остовов, на которые навешиваются все агрегаты трактора. Преимущество безрамного остова — высокая жесткость, преобладание доли литых деталей в компактной сборке, обладающей потенциалом для металлосбережения. Рассмотрим пример конструкции нового двигателя.

По информации концерна "Тракторные заводы" [1] предприятием налажен выпуск дизеля Д-3041Н1. Индекс "Н" в его наименовании означает "несущий силовой картер". На рисунке показаны вид на несущий литой картер с тонкостенными ребрами и двигатель, готовый к отгрузке.

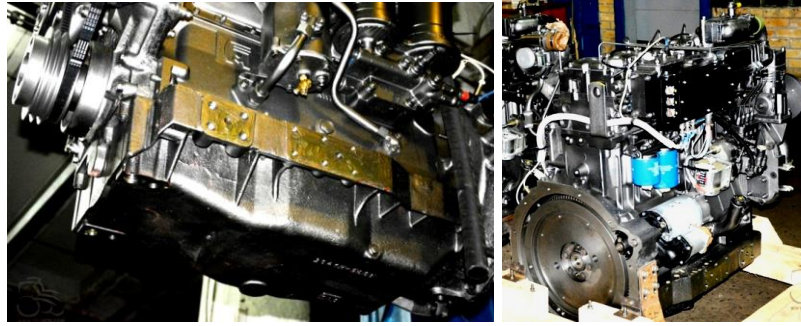


Рис. Вид на несущий литой картер, а также двигатель, готовый к отгрузке.

Такой двигатель относится к четырехцилиндровой серии по мощности 160-250 л.с., обладает рядной компоновкой с четырехклапанной системой газораспределения, турбонаддувом и предназначен для колесного трактора безрамной конструкции.

На дизеле несущую функцию выполняют литой масляный картер и картер маховика с непосредственным монтажом двигателя к переднему мосту и трансмиссии трактора. Отмечены следующие преимущества дизелей концерна по сравнению с импортными аналогами: повышенный запас крутящего момента (до 40 %); низкий удельный расход топлива при номинальной мощности (147-155 г на лошадиную силу в час); высокая долговечность базовых деталей (блок-картер, коленчатый вал), расчетная кратность запаса прочности которых составляет от 3 до 5 единиц; вертикальное, рядное расположение цилиндров, отвечающее общемировой тенденции в двигателестроении [1].

Рассмотренное выше описание нового двигателя подтверждает известную информацию, что современные литые конструкции в силу используемых литейных процессов и традиционных условий их конструирования, как в Украине, так и странах СНГ превышают расчетные не менее в 1,5-2 раза, а в Западной Европе – в 1,3-1,5 раза [2]. Хотя безрамная конструкция трактора отвечает тенденции экономии металла, но высокая расчетная кратность запаса прочности, заложенная конструкторами, сохраняет потенциал снижения металлоемкости. Это дает основание полагать, что существенное уменьшение массы литых конструкций, повышение их эксплуатационных характеристик для изделий машиностроения, в первую очередь транспортных средств, сохраняет актуальность в тематике направлений совершенствования процессов литейного производства и конструирования литых деталей.

Список литературы

1. «Тракторные заводы» выпустили новую модель двигателя - дизель Д-3041Н1. <https://cont.ws/post/241580>.

2. Шинский О. И. Снижение металлоемкости литейной продукции – основа развития отрасли // Оборудование и инструмент для профессионалов. - 2011. - № 1. – С. 78 – 79.

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, И. О. Шинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ЗАЛИВКА С ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЗЕРКАЛА МЕТАЛЛА ПРИ ЛИТЬЕ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК

В развитие способа литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) [1], в котором песчаная форма снабжена средствами вентиляции (каналами в разовой модели и выпорами) и дожигания газов, предложено описанное ниже техническое решение. Выполнением в модели и форме (Full Mold & Lost Foam) [1] выпоров с каналом, который пересекает струя заливаемого металла, достигают того, что первый заливаемый металл с верхним подводом прожигает канал в модели, создавая свободный выход газов от зеркала металла, что повышает качество отливок за счет оптимизации деструкции пенополистирола. Вентилирование зазора «металл-модель» с начала и до конца заливки, отвод газов при деструкции модели и их сжигание на воздухе с образованием углекислого газа и паров воды снижает парциальное давление углерода в газовой фазе, уменьшает насыщение им расплава при сохранении скорости подъема металла в форме. Заливка выполняется без избыточного давления газов в полости формы и опасности выплеска металла.

Для получения некрупных тонкостенных отливок типа лопастей, лопаток ГТД с питающими верхними прибылями с целью металлосбережения при минимизации литниковой системы авторами предложена схема заливки (рис.) в полость 1 открытой прибыли с каналом-бороздой 2, но не открытой струей ме-

талла, а через дозирующую воронку 3. Полость 1 может быть заполненной газифицируемой моделью или быть частью полой оболочковой формы.

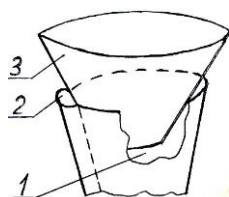


Рис. Схема заливки через приставную воронку и пример отливки лопасти.

В любом случае канал 2 играет роль выпора и обеспечивает вентиляцию струи и зеркала металла в полости формы. Воронка 3 может быть выполнена из деталей шамотного печного или стопорного припаса и использоваться многократно. В конце заливки формы воронку могут извлекать и переставлять на другую аналогичную открытую прибыль, а в прибыль доливать металл. При ЛГМ воронка, нагретая выше 200-300 °С, прожжет пенополистирольную модель и канал 2 и обеспечит вентиляцию формы. Канал 2 можно выполнить в стенке воронки, например, изготовив ее из формовочной смеси. По ободу на торце открытой прибыли можно устанавливать проволочный каркас или решетку (во избежание поломки оболочковой формы), на которые устанавливать воронку, с этим каркасом ее можно переставлять на другое отверстие. Если в одном контейнере выполнена многоместная форма с несколькими отверстиями под заливку и засыпана песком с общим контрладом, то, переставляя одну шамотную воронку можно залить все полости. Воронка обеспечивает функцию дозатора металла и выпора, экономя металл на литниковой системе и обязательных выпорах [1]. Также упрощается изготовление оболочковой формы (без стояков, питателей, трубчатых выпоров), например, длинномерной лопасти с обеспечением вентиляции, как при литье по способам Full Mold & Lost Foam, так и в полые формы из смеси со связующим или оболочковые. Такой способ вентиляции может быть полезен и для кокилей. Предложенный способ литья предполагает за счет «укорочения» литниковой системы снижение потерь тепла металла на ее стенках и его перегрева, повторное использование нагретой приставной воронки также даст «экономия» тепла металла с учетом возможности доливки в открытую прибыль. Съемные воронки используют при серийном литье алюминия по ЛГМ-процессу в сочетании с прессованием [2]. Однако такой способ заливки с «обязательной» вентиляцией позволяет пропустить избыток газов встык с нагретой металлом воронкой (или по каналу в ней) и зажечь их без по-

падания в воздух цеха не окисленных продуктов деструкции модели. Воронка также служит экраном от случайных выплесков металла. Способ расширяет возможности ЛГМ для тонкостенного литья с элементами металлосбережения, оптимального нагрева металла, экономии формовочных материалов, вентиляции формы и дожигания газа.

Список литературы

1. Пат. 67906 Украины, МПК В22 С9/04. Способ литья по газифицируемым моделям / О.И. Шинский, В.С. Шульга, И. О. Шинский и др. - Бюл. 14/2007.
2. *Дорошенко В. С.* Автоматизация изостатического прессования затвердевающей отливки при ЛГМ // Процессы литья. – 2016. - №1. – С. 33 - 37.

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, О. А. Яковышин

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО РАЗОВЫМ МОДЕЛЯМ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Модели изо льда позволяют использовать самопроизвольные процессы при формовке. Согласно одной из трактовок второго начала термодинамики при протекании самопроизвольных процессов в изолированной системе энтропия ее возрастает [1]. Плавление льда (в контакте с песком при 20°C) уменьшает упорядоченность системы - растет внутренняя энергия молекул (поступательная, колебательная, вращательная), а значит, растет энтропия как мера «микроскопического беспорядка». Если на ледяной модели создать песчаное покрытие, способное удержать сухой виброуплотняемый наполнитель, расплавить модель и капиллярной фильтрацией расплава удалить в поры наполнителя с отверждением наполнителя (предварительно замешав в него материал, твердеющий в контакте с расплавом), то мы получим оболочковую форму с самопроизвольным удалением модели и твердением этой формы [1].

На модели из традиционных пенно- или воскообразных материалов наносят покрытие в жидком (Ж) виде и при создании оболочки затем обычно

наносят твердый (Т) дисперсный наполнитель, формируя оболочку по схеме Ж-Т-Ж-Т... и подвергая каждый слой длительной сушке. Послойное твердение создает напряжения в слоях, вызывая хрупкость оболочки. На поверхность ледяной модели в силу наличия на ней электрзаряда путем насыпки наносят наполнитель по схеме Т-Ж-Т-Ж...без остановки, используя капиллярную фильтрацию и связующие свойства воды, подавая ее в виде аэрозоля. В чем-то это напоминает строительство детьми «замков» из сырого песка на пляже у водоема. Только, если «замки» при высыхании рассыпаются, то связующая роль воды передается образуемой твердой фазе при наличии в наполнителе добавки гипса или цемента - быстрое объемное твердение оболочки. Известен аналогичный способ 3D-печати бетонных конструкций. Совмещая экструзионную и порошковую печать, 3D-принтер одновременно печатает двумя головками, экструзией полученную полосу пастообразного бетона шириной 1 см укрепляет порошковым гранулятом [2].

Во ФТИМС НАНУ начаты исследования по применению ацетата натрия (АН), натриевой соли $C_2H_3O_2Na$ уксусной кислоты, как модельного материала. В промышленных масштабах его получают через сухую перегонку древесины. АН недорог, нетоксичен и негорюч, хорошо растворим в воде и распространен в природе, в частности, в растительных и животных клетках, во многих фруктах и кисломолочной продукции. В пищевой добавке E262 его добавляют в консервы из овощей для смягчения вкуса уксусной кислоты, а также применяют в хлебобулочной промышленности. В быту АН применяют для химических грелок в составе «горячего льда» (hot ice). При нагреве тригидрата АН (плавление при 58 °С) до 100 °С он становится жидкотекучим - растворяется в собственной кристаллизационной воде как водный раствор АН. При охлаждении этого раствора образуется перенасыщенный раствор АН в воде. Этот раствор охлаждали до комнатной температуры без образования твердой фазы, затем заливали его в пресс-форму «восьмерки» с затравкой – кристалликами АН, в контакте с центрами кристаллизации перенасыщенный раствор переходит в твердую фазу тригидрата АН. Этот процесс экзотермический с теплотой фазового перехода 264-289 кДж/кг.



Рис. Кристаллики АН, модель восьмерки и процесс кристаллизации АН

Также в чашку Петри на кристаллики АН наливали тонкой струей пересыщенный раствора АН, жидкость сразу превращалась в белую массу как перевернутая «сосулька», подобная песчаным «замкам». На рис. показаны (слева направо) кристаллы АН в массе белого цвета в стаканчике для взвешивания СН 60х30 КШ ТС, модель восьмерки для испытаний и выращенная «сосулька».

Список литературы

1. *Дорошенко В. С.* Самопроизвольные процессы, реализуемые в условиях градиентов термодинамических и физико-химических характеристик литейной формы // *Металл и литье Украины – 2016.* - №1. – С. 18 - 22.
2. Бетонные конструкции теперь можно печатать на 3D-принтере. 01.02.2016. <http://newbud.ua/technologies/betonnye-konstrukcii-teper-mozhno-pechatat-na-3d-printere>.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ДАВЛЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Si

Известно, что физико-механические свойства литого металла зависят от целого ряда факторов различной значимости. Поэтому разработка достаточно универсальных технологических процессов, направленных на снижение производительных потерь металла с одной стороны, и на повышение его качества - с другой, неизменно является актуальной задачей технологов и исследователей.

Наиболее высокие и стабильные по сечению отливок свойства обычно достигаются при получении однородной и мелкозернистой структуры. Чем мельче размеры первичных кристаллов, тем выше ряд важных эксплуатационных и технологических свойств отливок. Поэтому литейщики чаще всего стремятся к получению наиболее мелкозернистой и однородной структуры металла.

Одним из наиболее распространенных средств достижения этой цели является модифицирование. Кроме того, к методам активного воздействия на формирование структуры слитков и отливок можно отнести процессы, связанные с применением давления, введения в расплав упругих колебаний, воздействия концентрированными источниками энергии. При этом, указанные процессы обладают, в том числе, определенной технологической спецификой, имеют свои достоинства и недостатки.

Эффективный способ изменения морфологии кристаллизующихся фаз - их затвердевание в резко неравновесных условиях. При этом создаются условия для измельчения зерна, значительного расширения растворимости в твердом состоянии, подавления роста грубых включений первичных интерметаллидов.

Одним из эффективных способов воздействия на кристаллизующийся металл является, в частности, газодинамическое воздействие. При осуществлении такого процесса к моменту начала подачи газа на поверхности рабочей полости литейной формы должен сформироваться слой твердого сплава такой

толщины, который может обеспечить герметичность системы вплоть до полного затвердевания отливки.

В лаборатории современных материалов Ариэльского университетского центра (Израиль) совместно со специалистами кафедры литейного производства Национальной металлургической академии Украины были проведены исследования влияния переменного газового давления на структурообразование металла отливок из сплава А356. Результаты лабораторных исследований показали повышение механических свойств литого металла и снижение пористости цилиндрических отливок из сплава А356 диаметром 50 мм и высотой 100 мм. В порядок технологических операций изготовления отливки были включены следующие этапы: проведение рафинирования (препарат DEGASAL Т 200, введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона) с начальными показателями давления 0,15 - 0,2 МПа, последующее наращивание давления до 1,3 - 1,4 МПа и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в результате газодинамического воздействия удалось измельчить структурные составляющие, в результате чего увеличились на 20-25% пластические свойства литого металла и на 8-12 % увеличилась его плотность. Таким образом, газодинамическое воздействие на затвердевающий металл позволяет добиться эффекта модифицирования, который может быть значительно усилен вводом в расплав дополнительных центров кристаллизации в виде соответствующих традиционных модификаторов либо нанокристаллических порошков, полученных методами механохимии. При этом возможно снижение количества расходуемого модификатора.

Список литературы

1. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Скворцов, А.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок [Текст] / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов–М.: Металлургия, 1995.– 272 с.

В.П. Доценко, М.П. Тур, Д.С. Васильев

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ, КАК АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

На антифрикционные свойства железоуглеродистых сплавов оказывают существенное влияние основная металлическая масса и графит.

В железоуглеродистых сплавах с шаровидным графитом износостойкость увеличивается с уменьшением в структуре феррита. Многие источники указывают, что износостойкость чугунов увеличивается с измельчением перлита до сорбитообразного перлита и даже до сорбита. Измельчение перлита до сорбитообразного перлита ведет к увеличению твердости, что значительно ухудшает обрабатываемость и прирабатываемость, а также увеличивается вероятность повреждения рабочей поверхности трущейся пары.

По мнению исследователей в подшипниковых железоуглеродистых сплавах не допускается наличие свободного цементита, так как он приводит к повышенному износу сопряженной детали.

Получение антифрикционных железоуглеродистых сплавов с оптимальной структурой зависит от многих факторов, одним из них является: химический состав, скорость охлаждения, легирование, модифицирование и термическая обработка.

Влияние графита на износостойкость железоуглеродистых сплавов может быть двояким, это объясняется его особыми свойствами. Графит обладает очень низкой прочностью и высокой пластичностью, что обуславливается его слоистым строением. В силу легкого расслоения на очень тонкие пластинки и хорошего сцепления их с металлом, графит может сам по себе служить смазкой, препятствуя выкрашиванию крупных частиц при истирании.

Известно, что на антифрикционные свойства железоуглеродистого сплава основное влияние оказывают формы и характер распределения углерода в основной металлической массе. Однако считается, что лучшими антифрикционными свойствами обладают железоуглеродистые сплавы, у которых графит находится в виде глобул, хлопьев или отдельных гнезд, нежели железоуглеродистые сплавы с пластинчатой формой графита. Наихудшими антифрикцион-

ными свойствами обладают железоуглеродистые сплавы с грубой пластинчатой формой графита.

Общеизвестно, что с увеличением содержания фосфора в железоуглеродистом сплаве антифрикционные свойства его повышаются. Он же в железоуглеродистом сплаве образует тройную легкоплавкую эвтектику Fe-Fe₃C, Fe₃P (стэдит) и только незначительная его часть может находиться в твердом растворе. При затвердевании железоуглеродистого сплава фосфидная эвтектика располагается отдельными включениями или же по границам зерен, а при повышенном содержании его около 0,6% образуют замкнутую сетку. В связи с этим фосфидная эвтектика, находящаяся в железоуглеродистом сплаве может оказывать на износ двойственное влияние. Наилучшими условиями в отношении износа железоуглеродистых сплавов будут те, при которых фосфидная эвтектика достаточно прочно залегает в основной металлической массе. Если же фосфидная эвтектика / стэдит / залегает в виде отдельных твердых включений, то, выкрашиваясь из основной металлической массы, она будет выполнять роль абразива и значительно увеличивать износ железоуглеродистых сплавов.

Исходя из этих соображений можно сделать вывод, что для увеличения износостойкости железоуглеродистых сплавов необходимо стремиться к тому, чтобы фосфидная эвтектика находилась в виде сетки в перлитно или перлитно-сорбитной основной металлической массе железоуглеродистых сплавов.

Список литературы

1. Харлашин П.С., Волошин В.С., Ершов Г.С. *Металлургия (проблемы, теория, технология, качество) Учебник.* – 2004 – 740 с.
2. Акулич Н.В. *Процессы производства черных и цветных металлов и их сплавов,* Гомель, 2008. – 185 с.

УДК 669.184.4:621.746.5

**В. И. Дубоделов, А. Н. Смирнов, М. С. Горюк, В. К. Погорский,
Ю.П. Скоробагатько, А.Ю. Кизилова, А.П. Верзилов, Ю.Ю. Кулиш**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

**МГД-УПРАВЛЕНИЕ ТЕЧЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ
РАСПЛАВОВ
В ЛИТЕЙНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ
АГРЕГАТАХ**

Магнитодинамические миксеры-дозаторы для чугуна и стали применяются в литейном производстве и металлургии для приготовления и разливки сплавов. Такое оборудование обеспечивает регулируемый индукционный нагрев жидкого металла, его электромагнитное перемешивание в различных режимах (в т. ч. при проведении внепечной обработки), электромагнитную разливку в дискретном и непрерывном режимах. При этом, в зависимости от конструкции магнитодинамического агрегата и области его технологического применения, организация движения жидкого металла и управление режимами его течения могут существенно различаться.

На практике, современные магнитодинамические агрегаты для чугуна и стали в своей горизонтально расположенной канальной части имеют 2-3 индуктора, 3-4 ветви индукционного канала, замыкающихся друг на друга и через жидкометаллическую ванну, 1-2 дополнительных электромагнита и соответственно 1-2 рабочих зоны и сливных носка. Такая сложная в гидравлическом и электрическом аспектах система, с одной стороны, предоставляет широкие возможности для управления течением расплава, с другой – предъявляет жесткие требования к системе управления и соблюдения заданных технологических параметров.

Так, при использовании МГД-миксера-дозатора в литейных технологиях при производстве отливок из чугуна и стали основной задачей является обеспечение заданного режима циркуляции расплава в системе «индукционный канал – тигель» для перераспределения тепловой мощности по всему объему расплава в процессе ускоренного нагрева, технологической выдержки, длительного хранения, обработки, создания направленных потоков при расплавлении шихты, вводе и растворении твердых легирующих и модифицирующих до-

бавок. В результате при производстве литья обеспечивается снижение удельного расхода электроэнергии (на 15-20%), уменьшение безвозвратных потерь металла и экономия легирующих (до 30%), улучшение качества отливок.

Использование магнитодинамических устройств в металлургических технологиях имеет свои особенности. Так, эти процессы отличаются гораздо более высокой динамикой, нежели традиционное литье, сопряжены с работой с большими массами металла, что соответственно обуславливает необходимость применения более мощных и сложных систем электропитания, а вследствие компоновки большого количества технологического оборудования в единый комплекс, система управления также работает по-иному.

Например, при непрерывной разливке стали, вследствие высоких массовых скоростей процесса, индукционная часть МГД-миксера-дозатора, работающего в данном случае в качестве промковша, функционирует главным образом в режиме проточного нагревателя для поддержания стабильной температуры разливки, а также для регулирования скорости разливки и зон выдачи расплава. В этом случае, усреднение температуры по всей жидкометаллической ванне промковша и организация направленных потоков расплава при его модифицировании и легировании обеспечивается установкой дополнительного электромагнитного перемешивателя на донной или боковой стенке тигля МГД-агрегата. Гидродинамическая картина существенно усложняется, но и возможности по управлению тепломассопереносом также становятся шире. По предварительным оценкам, такая организация технологического процесса обеспечит: - стабилизацию работы МНЛЗ и повышение производительности на 2-4% при одновременном увеличении выхода годного на 0,5-1%; - сокращение угара компонентов на 2-5%; - экономию огнеупоров на 10-15%; - исключение вторичного окисления металла; - уменьшение количества неметаллических включений и пористости в непрерывнолитых заготовках в 1,5-2 раза; - улучшение условий труда и экологии на производстве.

УДК 621.74:537.84

**В. И. Дубоделов¹, Ю. М. Гориславец², В. Н. Фиксен¹, А. И. Глухенький²,
А. И. Бондар²**

¹Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г.

Киев

²Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

**УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ И ТЕПЛОВЫМ СОСТОЯНИЕМ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВАХ
ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ
ПУЛЬСИРУЮЩЕГО И БЕГУЩЕГО МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Перемешивание жидкого металла в различных литейных и металлургических агрегатах в настоящее время осуществляется преимущественно с помощью электромагнитных устройств, использующих бегущее либо вращающееся магнитные поля [1]. В некоторых случаях успешную альтернативу им могут составить перемешиватели на основе пульсирующего магнитного поля [2]. В работе [3] рассмотрены конструктивные решения комбинированных электромагнитных перемешивателей, которые способны отдельно создавать бегущее и пульсирующее магнитные поля при соответственно многофазном и однофазном питании их обмоток. Периодическое чередование этих полей позволяет поочередно формировать одноконтурную и двухконтурную структуры вихревого течения жидкого металла, тем самым более эффективно перемешивать расплав во всем объеме ванны печи. Застойные зоны, которые возникают при одном режиме работы, эффективно перемешиваются при другом.

В предлагаемом докладе представлены расчетные параметры теплового состояния расплава, полученные в результате численного мультифизического 3D моделирования электромагнитных, гидродинамических и тепловых процессов в отражательной печи для алюминия с комбинированным электромагнитным перемешивателем, пристыкованным к боковой стенке ванны печи. Указанные процессы рассматривались как слабосвязанные, что позволило решать эти задачи последовательно. Электромагнитная задача решалась относительно векторного магнитного и скалярного электрического потенциалов, в результате чего получено распределение объемных электромагнитных сил в жидком ме-

талле. Расчет нестационарного движения расплава под действием этих сил выполнен на основе решения уравнений Навье-Стокса с использованием к-ε модели турбулентности [4]. Распределение температуры металла в ванне печи в процессе его нагревания получено с учетом поля скоростей, найденных в результате решения гидродинамической задачи.

Моделировалась следующая ситуация. Жидкий металл (алюминий) объемом $(3 \times 2 \times 0,5) \text{ м}^3$ нагревался и одновременно перемешивался в ванне печи в течение 20 минут. Нагрев осуществлялся тепловым потоком общей мощностью 600 кВт, который поступал равномерно через верхнюю поверхность (зеркало) металла. Начальная температура металла принималась равной температуре плавления, а начальное распределение температуры стенок печи определялось путем предварительного решения стационарной тепловой задачи с заданной температурой внутренних поверхностей стенок, равной начальной температуре расплава. Рассматривался электромагнитный перемешиватель в виде трехстержневого индуктора [3] с суммарными ампервитками трех катушек, равными 60 кА (как при трехфазном, так и однофазном питании).

Анализ полученных таким образом данных показал, что существенно снизить перегрев расплава на поверхности можно за счет использования поочередного действия бегущего и пульсирующего магнитных полей с периодом переключения, примерно равным длительности переходного гидродинамического процесса. Кроме того, установлено, что получить более однородное распределение температуры во всем объеме расплава можно за счет смещения перемешивателя ниже среднего положения по высоте металла.

Список литературы

- [1] Что-нибудь общее про перемешиватели
- [2] V.I. Dubodelov, V.N. Fikssen, A.I. Glykhenkii, Yu.M. Gorislavets (2009), *Tekhnichna elektrodynamika*, 1, 61-66 (Rus).
- [3] V.I. Dubodelov, Yu.M. Gorislavets, A.I. Glukhenkii, V.M. Fikssen (2015), *Proc. 8th Int. Conf. EPM-2015, Cannes, France*, 605-608.
- [4] Источник по моделированию

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

В. И. Дубоделов, Б. А. Кириевский, В. А. Середенко,

Е. В. Середенко, А. А. Паренюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов, г. Киев

МГД-ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТОКОСЪЁМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Безаварийное функционирование электрифицированных железных дорог связано с работоспособностью контактной пары «провод электросети – токосъёмная вставка». Вставки должны удовлетворять взаимоисключающим условиям работы – минимальный износ контактного провода с обеспечением надежного токосъёма при максимально возможном межремонтном пробеге. Вставка должна иметь меньшую износостойкость и твердость, чем материал контактного провода, и общий комплекс свойств (электротехнических, триботехнических и механических) высокого уровня.

Повышение ресурса токосъёмного узла базируется на разработке вставок на основе меди – более пластичного, электро- и теплопроводного металла, чем используемые. Металлические системы, в которых медь является базовым компонентом, с монотектической диаграммой состояния и с концентрациями элементов, соответствующими области несмешивания фаз в расплаве для обеспечения мелкодисперсных размеров капель эмульсии (не более 1 мкм) – одни из наиболее перспективных для создания эффективных токосъёмных деталей железнодорожного электротранспорта. На основе исследований определен рациональный диапазон состав таких сплавов, % масс.: 92-96 Cu; 3,2-6,5 Fe; 0,65-1,30 Cr; 0,06-0,12 C, остальное – примеси.

Благодаря анализу электрических и магнитных свойств сплавов меди с комплексом (Fe-Cr-C) установлено, что в процессах выплавки и разлива компоненты сплава существенно изменяют электромагнитные свойства, которые являются базовыми при разработке МГД-технологий получения дисперсно-упрочненных материалов на основе меди. Определен диапазон изменения электрических и магнитных свойств сплавов Cu – (Fe-Cr-C) в процессе получения расплава и его охлаждения. Установлено, что за счет комплекса МГД-воздействий необходимо обеспечить получение расплава с минимально допу-

стимыми отклонениями в его объеме по температуре и концентрации микрообъемов.

Состояние микроэмульсии (микрокапли размером 10-100 нм) предполагается достичь за счет перегрева расплава индукционными токами до 1550 °С и правильной организации режима МГД-перемешивания в тигле индукционной печи средней частоты. Рационально проводить плавку в графитовом тигле. После расплавления меди и перегреве расплава в 1260 °С при удельной мощности ~450 Вт/кг добавляется измельченная до 5-10 мм шихта, содержащая FeCrC, в дальнейшем мощность повышается до 550 Вт / кг и расплав перегревается до 1460-1480 °С. Затем мощность снижается до 200 Вт/кг и проводится изотермическая выдержка в течение 5 мин.

Повышению специальных свойств контактных пластин способствует формирование структуры сплавов под электромагнитным воздействием при минимизации концентрации компонентов упрочняющей фазы в твердом растворе, равномерном распределении вкраплений указанной фазы с размерами около 1 мкм при плотности таких вкраплений в матрице на уровне $1 \cdot 10^5 \text{ мм}^{-2}$.

Разработанный технологический процесс обеспечивает получение эмульгированного состояния расплава с каплями размером ~1 мкм.

Токосъемные вставки из разработанного сплава изготовлены методами порошковой металлургии. Они обеспечили высокие показатели электропроводности, дугостойкости, теплопроводности, триботехнических и механических характеристик. Сравнительные испытания опытных вставок и эксплуатирующихся на железнодорожном электротранспорте постоянного тока показали большую сбалансированность комплекса свойств новых изделий с показателями свойств контактного провода, что обеспечивает увеличение ресурса пробега.

Дальнейшие перспективы применения таких материалов лежат в плоскости создания новых МГД-технологий по получению новых функциональных материалов и изготовлению изделий для элементов тормозных систем железнодорожного электротранспорта.

Н.С. Евтушенко, О.И. Пономаренко, Л.Н. Чунихина

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков.

ЭКОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Литейное производство – один из главных источников загрязнения атмосферы среди промышленных предприятий. При традиционном литье на каждую тонну отливок из сплавов черных металлов выделяется около 50 кг пыли, 250 кг окиси углерода, 1,5-2 кг окиси серы и до 1,5кг других вредных веществ (фенолов, формальдегидов, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов). Кроме того, это производство связано с выбросом твердых отходов, которые тоже загрязняют окружающую среду. В водный бассейн поступает до 3 куб.м сточных вод и вывозится в отвалы до 6 т отработанных смесей. Отработанные формовочные и стержневые смеси относятся к 4-й категории опасности и составляют 90 процентов общих отходов [1].

Одним из неблагоприятных факторов в современных литейных цехах все еще остается пыль. Значительные выделения пыли, содержащей диоксид кремния SiO_2 , имеют место при приготовлении формовочной и стержневой смеси, размоле материалов, их просеивании, пересыпании в бункера и смесители и передаче на конвейеры готовой смеси. При очистке отливок в галтовочных барабанах выделение пыли доходит до 94,3%, а при выбивке отливок — до 99,2%[2].

От общего объема отливок более 80% изготавливаются в разовых формах, свойства которых определяют качество отливок. В связи с этим изучение материалов и технологий, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей, а также создание и применение для их изготовления малотоксичных и нетоксичных составов смесей является актуальной задачей.

. По экспертным данным эти технологии дают до 70% загрязнений окружающей среды. При нагреве форм и стержней на смоляных связующих в интервале температур 400-800 °С наблюдается интенсивное выделение фенола, бензола, толуола, крезола, формальдегида, аммиака, а при температурах 800-1200 °С приводят к образованию углекислого газа, окиси углерода, углеводородов, двуокиси серы и азота. Особенно опасен канцерогенный бензоперен, ко-

торый вызывает генные мутации и раковые заболевания, который образуется при неполном сгорании топлива [1].

Улучшение экологической обстановки в литейных цехах должно развиваться по следующим направлениям. Использование, созданных в Украине, прогрессивных технологических процессов как литье по газифицируемым моделям, ледяным моделям, использование наводороженных форм, которые позволяют количество выбросов в 100 раз [3].

При использовании технологий на холоднотвердеющих смесях это:

- создание экологически чистых смоляных связующих, например, использование олигофурфурилоксисилоксанов [4];
- использование в качестве неорганического связующего жидкого стекла.

Для этого необходимо более эффективно работать над созданием разупрочняющих добавок, которые ликвидируют основные недостатки смесей на жидком стекле, плохую выбиваемость форм и пригар на отливках [5].

Список литературы

1. Ткаченко С.С. Станкостроение и модернизация литейного производства / С.С. Ткаченко, В.С. Кривицкий // Труды 8-ой Всероссийской научно-практической конференции «Литейное производство сегодня и завтра» (23-25 июня 2010 года). – Санкт-Петербург. – 2010. – С. 3-11.
2. Лапин В.Л. Охрана труда в литейном производстве./ В.Л. Лапин, Н.И. Сердюк– М.: Машиностроение,1990. -128с.
3. Шинский О.И. Экология, технология и экономика литейного производства Украины /О.И. Шинский // Оборудование и инструмент для профессионалов.- 2011. – №4. – С.90- 94.
4. Патент на корисну модель № 23593 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей. Авторів Каратєєв А.М., Пономаренко О.І., Євтушенко Н.С. та ін. Опубл. 25.05.2007. Бюл. № 7, 2007 р.
5. Патент на корисну модель UA № 95138 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей / А.М. Каратєєв, О.І. Пономаренко, Т.В. Берлізева та ін. Заявка от 01.07.2014. Опубл. 10.12.2014. Бюл. № 23, 2014 р.

УДК 621.746.558.086.4

А.П.Еременко, Н.К. Сигарев, Я. А. Сорока, Д.О. Плакущий, В.В.Козина
Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНЕВЫХ ОТЛИВОК ПОРОШКОВОЙ СМЕСЬЮ

Модифицирование является одним из способов эффективного воздействия на структуру и качество отливок, которые наследуются на всех этапах технологического производства.

В связи с этим повышение эффективности воздействия модифицирования на структуру отливок остается актуальной задачей. В последние годы в качестве модификаторов все шире применяют порошковые смеси. Однако при этом возникают проблемы с вводом порошков в расплав - частицы порошков быстро «слипаются» вследствие плохого смачивания жидким металлом и выносятся восходящими потоком. Поэтому для литейных алюминиевых сплавов в качестве модификаторов чаще используются не чистые порошковые смеси различных элементов или их оксидов, а смеси с добавлением солей и рафинирующих реагентов. Состав таких смесей варьируется в зависимости от химического состава модифицируемого расплава. При этом предполагается, что для обеспечения полноты протекания процессов, параметры кристаллической решетки вводимых частиц (центров кристаллизации) должны максимально соответствовать кристаллической структуре модифицируемого сплава, а состав реагентов - температурным параметрам расплава [1]. Процесс ввода такой комплексной порошковой смеси в расплав сопровождается его активным барботажем, что способствует равномерному распределению частиц смеси в объеме расплава и одновременному удалению неметаллических включений из расплава. В определенной степени это позволяет сократить объем используемой смеси для рафинирования расплава. Кроме того универсальность этих смесей может создавать ряд преимуществ по сравнению с другими модифицирующими порошками. Однако механизм и параметры модифицирования алюминиевых сплавов порошковыми смесями с диссоциацией реагентов и восстановлением активных элементов из оксидов

исследован недостаточно, а в известных работах, как правило, глубоко не рассматривается.

Целью данной работы является изучение механизма процессов, протекающих при взаимодействии алюминиевых расплавов с комплексной порошковой смесью и оптимизация параметров модифицирования алюминиевого сплава для повышения его механических и служебных свойств. При проведении исследований в качестве модификатора была использована комплексная порошковая смесь, состав которой изменяли в пределах 25-75%NaCl+75-25%CaCO₃ [2].

. В лабораторных условиях были проведены исследования с модифицированием расплава алюминия указанными составами смесей с варьированием объемов вводимых материалов от 0,1 до 0,25 %. Алюминиевый сплав плавил в тигельной печи емкостью 5 кг, модифицировали и отливали образцы в песчаную форму диаметром 25 мм и высотой 50мм. Модифицирующие действия определяли по макро и микроструктуре образцов. Проведение плавок показало, что компоненты порошковой смеси, вследствие плохой смачиваемости расплавом, могут слипаться между собой и оксидами алюминия и переходить в шлак, что уменьшает эффект модифицирования. Существенное влияние на этот процесс оказывает температура расплава, чем ниже температура расплава тем большее количество смеси переходит в шлак не прореагировав с расплавом. Повышение температуры расплава обеспечивает переход хиолита в жидкое агрегатное состояние. Анализ микроструктуры показал, что увеличение процентного содержания в смеси NaCl уменьшает зерно алюминиевого сплава и степень загрязненности неметаллическими включениями.

Обработка расплава алюминиевого сплава порошковой смесью дает возможность существенно повысить механические свойства отливок за счет уменьшения размеров зерна и рафинирования от неметаллических включений. При этом обработка должна производиться при температуре расплава не менее 740 °С, чтобы обеспечить необходимую эффективность обработки.

Список литературы

1. Задиранов А.Н. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов / А.Н. Задиранов, А.М. Кац - М.: РУДН, 2008. - 227 с.

УДК 669.14:66.065.5

О. М. Жбанова, В. В. Ткач

ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривой Ріг

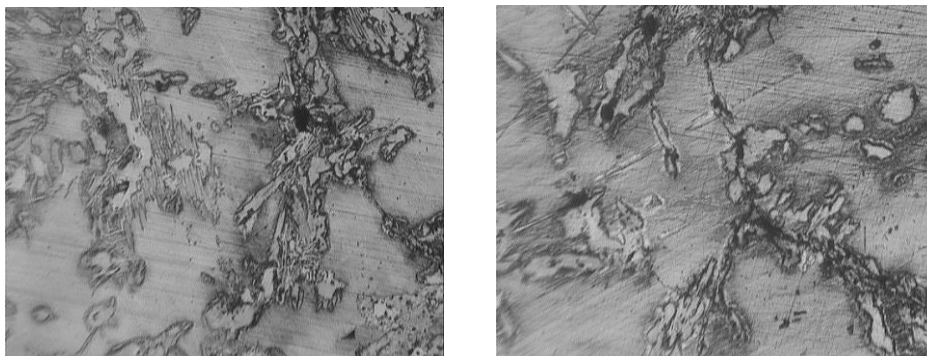
ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДІЇ В ПРОЦЕСІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 110Г13Л

При виробництві сталі Гадфильда [1] доводиться вирішувати ряд моментів, що негативно впливають як на технологічні, ливарні, так і експлуатаційні властивості відливань : а) при експлуатації сталі 110Г13Л в умовах високих абразивних і низьких динамічних навантажень, не устигає утворитися зміцнений поверхневий шар, що веде до швидкого виходу деталей з ладу; б) високий вміст фосфору, що вноситься в сталь з середньо- і високовуглецевим феромарганцем, і як наслідок - виділення фосфидної евтектики по межах зерен; в) виділення карбідів по межах зерна; г) високий вміст в металі газів і неметалічних включень при високому закисі марганцю в шлаку; д) схильність до росту дендриту при високій температурі заливки.

Актуальним завданням на сьогодні для металургійних підприємств залишається обробка металу, для поліпшення його фізичних властивостей. Одним з перспективних способів дії на структуру і властивості ливарних сплавів є обробка розплаву електричним струмом в процесі кристалізації [2]. Накладення на рідкий метал, що кристалізується, електричного і магнітного полів дозволяє ефективно управляти рухом розплаву, процесами тепломасопереносу, структурою і властивостями відливок [3].

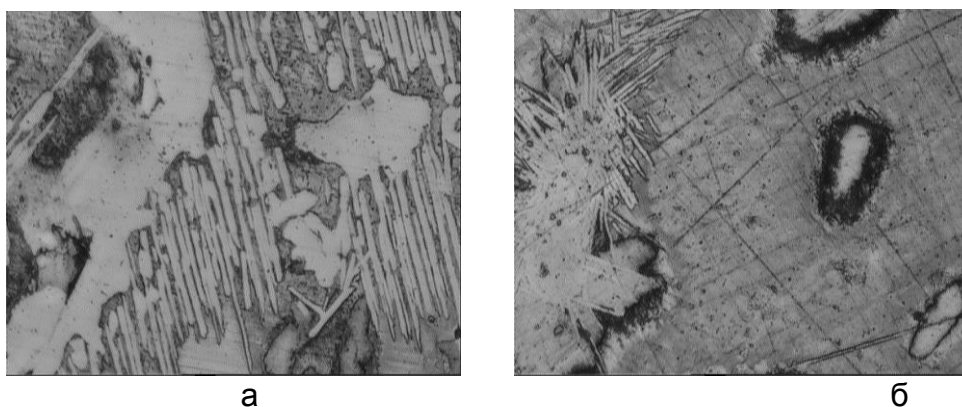
Раніше були проведені дослідження по вивченню впливу електродії на кристалізацію мідних і алюмінієвих сплавів. З метою поліпшення експлуатаційних властивостей зносостійких сталей, зниження енергоємності і матеріаломісткості процес потрібне проведення комплексу дослідження по застосуванню електродії [4].

В умовах ливарного цеху ТОВ «Зодчії» була випробувана технологія отримання дослідної партії відливок з металевого сплаву 110Г13Л, що включає обробку електричним струмом в процесі кристалізації.



а б
а - початковий сплав; б - сплав, оброблений електричним струмом
Рисунок 1 - Мікроструктура сплаву 110Г13Л x 100

Обробку відливаних електричним струмом проводили з початку заливки металу у форму до закінчення кристалізації. Використовувався постійний струм (напруга 25-55В) щільністю 4-5 А/см². Як показав аналіз мікроструктури зразків отриманого сплаву на кристалізацію металу електричний струм чинить модифікуючу дію. Подрібнюється первинне зерно металевої основи (рис.1). При обробці відливаних електричним струмом кількість неметалічних включень зменшується 1,4-2,5 рази. Оброблений електричним струмом сплав має вищі ливарні технологічні властивості, має кращу здатність заповнювати форму і кристалізується з меншою усадкою. Обробка електричним струмом регулюють розмір і кількість окремих структурних складових сплавів, призводить до подрібнення зерна (рис.2)



а б
Рисунок 2 - Мікроструктура сплаву 110Г13Л x 500
а - початковий сплав; б - сплав, оброблений електричним струмом

Дія електричного струму високої щільності на кристалізацію дозволяє змінювати кількість твердої та рідкої фаз. Струм, розігріваючи локальні області і мікрооб'єми матеріалу, забезпечує перехід його з твердого стану в рідкий. Це дає можливість регулювати час переходу з рідкого стану в твердий, тобто підтримувати існування агрегатного стану матеріалу.

Обробка розплаву струмом у багато разів підвищує швидкість розчинення металевих домішок і інших компонентів в розплаві, що є центрами кристалізації, що забезпечує не лише дрібнокристалічну структуру, але і підвищує гомогенність металу відливання. Тимчасовий опір розриву підвищився на 10-20 %. Обробка електричним струмом чинить сприятливий вплив на процес кристалізації розплавів металів при литві, що істотно покращує структуру зливка і його механічні властивості.

Список літератури

1. Зимокос Г. Н., Адаменко Л.А., Іванова Л.Х. Вплив хімічного складу на властивості високомарганцевої сталі у відливках броні конусних дробарок // «Металургія і гірничорудна промисловість» Москва 2011 С.
2. Кіщенко О. М., Ткач В. В., Орел Т. В Поліпшення якості відливань електричним струмом в процесі кристалізації // Збірка конференцій ПІТ Кривий Ріг 2010.- Вип.10.-С. 25
3. Кіщенко О.М., Ткач В. В. «Behandlung von flüssigem Metall elektrischen Strom» // Вісник ДВНЗ «Національний гірський інститут» Дніпропетровськ 2012 р С. 159
4. Башмакова Н.В. Особливості кристалізації алюмінієвих сплавів, виплавлених на основі вторинних шихтових матеріалів // V регіональна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих учених. Доповіді аспірантів і молодих учених. - Новокузнецьк, 2005. С. 28-50

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО СЛОЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ВАЛКОВ

Уровень свойств, формируемый в рабочем слое, является результатом химических, физических и структурных изменений, протекающих с различной интенсивностью вдоль вала в процессе изготовления (литья, механической и термической обработок). В соответствии с требованиями международных стандартов сертификации продукции современный анализ качества валков представляет собой комплексный контроль их состояния на каждом этапе изготовления, включающий различные методы: химические, структурные, физические, определение механических свойств и другие. Они осуществляются на специально отобранных от заготовок пробах с помощью современного оборудования. Но применение разрушающих методов контроля качества ограничено недостаточной величиной рабочего слоя вала и его высокой твердостью. С их помощью затруднительно оперативно оценить уровень свойств вдоль всей рабочей поверхности вала, предназначенного для эксплуатации [1].

Поэтому для оперативного контроля текущего состояния крупногабаритных валков разработаны неразрушающие методы, основанные на различных физических эффектах [2]. Методом ультразвукового контроля с помощью дефектоскопа марки УД 42Т осуществляют поиск внутренних дефектов и несплошностей в теле изделий, а также определяют величину их рабочего слоя вдоль всей поверхности. Исследования структуры и уровня твердости по поверхности изделий проводят с помощью переносных приборов: микроскопа, твердомеров Шора, «EQUOTIP», «Элит» [2].

Более полную информацию о структуре, физико-механических свойствах и напряженно-деформированном состоянии листопрокатных валков независимо от их типа и размеров позволяют получить магнитные методы [3]. Основой для их использования служит наблюдающаяся общность влияния структуры на магнитные (коэрцитивное поле; остаточная намагниченность и другие) и механические свойства (твердость, прочность). Установлено, что наиболее структурочувствительной характеристикой является коэрцитивная сила [1].

В связи с этим в промышленных условиях провели исследования однородности распределения твердости и коэрцитивной силы по поверхности более чем 20 центробежнолитых валков с рабочим слоем из хромоникельмолибденового чугуна. Для экспериментов применили переносные приборы – твердомер Шора и коэрцитиметр КРМ-Ц.

Исследуемые заготовки характеризовались различным уровнем свойств: твердость и коэрцитивная сила изменялись в пределах 72-77 HSD и 15-30 А/см. Установлено, что уровень коэрцитивной силы прямо пропорционален твердости, что согласуется с ранее проведенными исследованиями [1]. Анализ отливок с одинаковым уровнем твердости рабочего слоя показал, что при неоднородном его распределении вдоль бочки валка значительно возрастает коэрцитивная сила.

Отклонения в показаниях коэрцитивной силы от оптимальных пределов являются результатом трех явлений: неоднородного распределения структурных составляющих в процессе кристаллизации металла; наличия ликвационных процессов, характерных для центробежного литья; локализации напряжений, возникающих в процессе неравномерного теплоотвода при затвердевании валка из сложнолегированного расплава.

Выводы.

1. Установлено, что уровень свойств рабочего слоя является результатом изменений в его структуре, проистекающих с различной интенсивностью вдоль валка. Для оперативного оценивания его текущего состояния на любом этапе изготовления в дополнение к поверхностной твердометрии предложена магнитная диагностика с помощью переносного коэрцитиметра.

2. Экспериментальные исследования показали, что при неоднородном распределении значений твердости вдоль бочки валка повышается уровень коэрцитивной силы. Такие значения коэрцитивной силы обусловлены с неравномерностью структурных изменений при затвердевании крупногабаритного валка из сложнолегированных расплавов в поле действия центробежных сил. Снижение неоднородности твердости и коэрцитивной силы вдоль рабочего слоя возможно путем проведения термической обработки валковых заготовок. Поэтому работа в этом направлении продолжается.

Список литературы

1. Жижкина Н. А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: монография / Н. А. Жижкина. – Луганск: «Ноулидж», 2011. – 167 с.

2. Контроль якості продукції в машинобудуванні: навчальний посібник / Г. Є. Федоров [та ін.]. - Краматорськ: ДДМА, 2008. – 332 с.

3. Скобло Т. С. Метод контролю якості металовиробів, заснований на вимірі коерцитивної сили / Т. С. Скобло, О. Ю. Клочко, С. О. Бурцев, О. І. Листопад, Г. Я. Безлюдько, Р. М. Трищ // Якість технологій та освіти. – 2011. – № 1. – С. 9-15.

УДК 621.74.049

Н. И. Замятин, С. А. Замятин

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ НА КРИТИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ ОБРАЗОВАНИЯ УЖИМИН

Качество форм оказывает значительное влияние на поверхностные дефекты литья, из которых наиболее распространенными являются пригар, эрозия поверхности формы и ужимини.

Для определения стойкости формы к ужиминообразованию были проведены исследования [1] по определению влияния состава противопригарного покрытия на стойкость формы. Использовались противопригарные покрытия следующих составов:

Таблица 1

Составы противопригарных покрытий

Компонент	Содержание, % (по массе)			
	1	2	3	4
Циркон	26-30		23-25	
Дистен-силиманит	53-55	30-32	53-55	
Бентонит	1-2	1-2	1-2	2-3
ЛСТ	4-5	3-4,5		
Na-КМЦ	7-8			

Диоксид титана		30-32		
Фурановая смола			4-6	
Графит аморфный				15-16
Графит кристаллический				10-12
Тальк				20-25
АФ-связующее				4-6
Вода	до 100% и необходимой плотности			

Для сравнительного анализа влияния покрытия литейной формы проводили так же испытание неокрашенной формы на ужиминостойкость. Результаты экспериментов приведены в таблице 2. Для определения влияния на ужиминостойкость теплофизических параметров была определена теплопроводность противопопригарных покрытий (таблица 3).

Таблица 2

Критическое время образования ужимин при облучении поверхностей низкотемпературных литейных форм жидким алюминием

Покрытие	Время образования ужимин, с	Температура жидкого металла, °С
1	95	740
2	65	740
3	87	740
4	92	740
Без покрытия	72	740

Таблица 3

Значение коэффициента теплопроводности противопопригарных покрытий

№ по табл. 1	λ покр, Вт/(м·°С)	№ по табл. 1	λ покр, Вт/(м·°С)
1	0,178	3	0,162
2	0,115	4	0,198

Результаты проведенных экспериментов подтверждают, что с уменьшением теплопроводности и увеличением отражающей способности красочного слоя критическое время образования ужимин на окрашенной поверхности формы увеличивается, а следовательно, возможность образования дефектов уменьшается.

Список литературы

1. Замятин Н. И. Технологическая проба для определения влияния противопригарных покрытий низкотемпературных литейных форм на критическое время образования ужимин [текст] / Н. И. Замятин, С. А. Замятин // Материалы XI Международной научно – практической конференции. – Запорожье: ЗТПП, – 2015. – С. 102–104.

УДК 621.74.074

А.С. Затуловский, В.А. Лакеев, Е.А., В.А. Щерецкий

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ БРОНЗОВОЙ СТРУЖКОЙ НА СВОЙСТВА АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

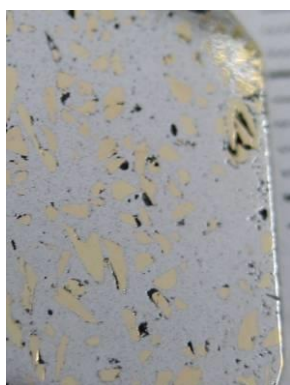
Проведенные в ФТИМС НАНУ исследования алюмоматричных композиционных материалов показали заметное увеличение износостойкости после армирования бронзовой стружкой [1]. Были разработаны способы производства подобных материалов с различным количеством армирующих частиц. Замешиванием частиц в частично расплавленный матричный сплав был получен композиционный материал с большим содержанием армирующей фазы, чем методом пропитки слоя частиц расплавом под давлением.

При замешивании стружки в твердожидкий матричный сплав создаются условия для образования пористости, что требует проведения дополнительных технологических операций по ее снижению. Был опробован способ импульсного воздействия посредством создания в суспензии переменного усилия сжатия. На поверхность суспензии воздействовали с усилием 6 - 7 кг/см² и частотой 2 - 3 Гц в течение двух минут. Было установлено, что такое воздействие вызвало снижение пористости композиционного материала. (Рисунок 1).

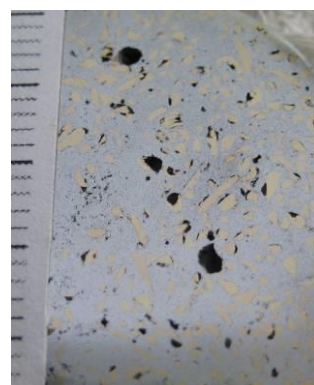
Испытания материала на износостойкость проводили на машине трения СМТ-1 при нагрузке 6,4 кг/см² и скорости 0,2 м/сек. Исследование поверхности трения показало, что мягкая матрица позволяет поверхности легко прирабатываться даже при наличии пористости. На рисунке 2 видно, что на поверхности

трения образовывается слой из дисперсных продуктов износа, открытая пористость отсутствует. Износ материала- 4,55 мм²/км, матричного сплава-12,33 мм²/км.

Применение различных литейных технологий позволило получить ряд новых композиционных материалов обладающих повышенными триботехническими свойствами. Дальнейшие исследования и разработка новых технологий позволят оптимизировать процесс получения алюмоматричных композитов армированных продуктами рециклинга.



а



б

Рис.1. Макроструктуры КМ произведенных замешиванием стружки в твердожидкий матричный сплав: а – после уплотнения импульсами; б – без уплотнения

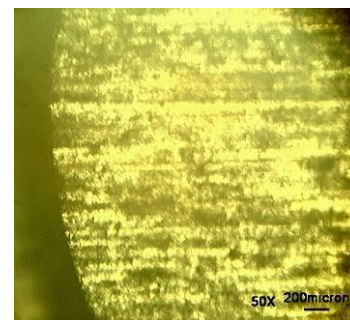


Рис. 2. Поверхность трения композиционного материала

Список литературы

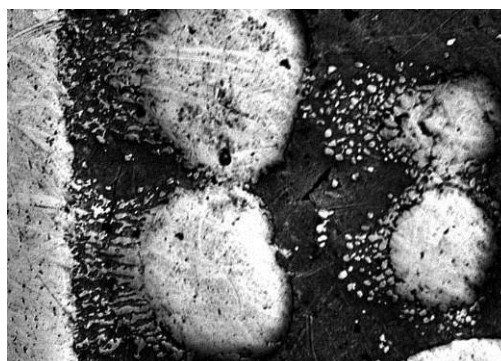
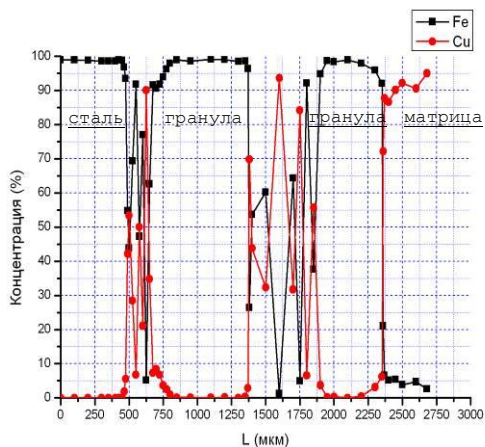
1. Затуловский А С., Лакеев В. А., Щерецкий В. А., Каранда Е. А. Рациональные технологии литья экономноармированных алюмоматричных композиционных заготовок // Процессы литья. – 2015. – № 4. – С 56-60.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ Fe-Cu НА ОСНОВЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Металлографические исследования, замеры микротвердости и перераспределения элементов зоны контакта свидетельствуют о том, что переходной слой в системе сталь–бронза имеет структуру и свойства, отличные от слагающих биметалл материалов. Железо незначительно растворимо в медных сплавах в твердом состоянии: в оловянных бронзах – не более 0,01%; в латунях – 0,35%; в алюминиевых бронзах – 0,3%. [1]. Исследования показали, что при всех температурах и выдержках наблюдается диффузия меди по границам железа с образованием α -твердого раствора меди в железе. По мере увеличения температуры и времени контакта количество α -твердого раствора на границе слоев увеличивается и при определенных параметрах образуется сплошной слой твердого раствора, что соответствует как показали испытания, максимальной прочности слоев [2]. Неравномерность толщины слоя α -твердого раствора связано с одновременно идущим процессом межкристаллизационной диффузии меди в железо. Твердость α -твердого раствора выше твердости не только медного сплава, но и железа. Растворение железа в расплавленной меди приводит со стороны меди к образованию ϵ -твердого раствора, твердость которого больше чем Cu, но меньше твердости железа. Металлографические исследования слоя ЛКМ показали, что стальные гранулы частично диспергируют в большей или меньшей степени в пограничной зоне. В большинстве случаев это проявляется в виде рядов из отдельных капель стали. Если гранулы расположены близко друг к другу, то образующиеся ряды капель образуют соединительные «мостики» (рис.1).

Методом микрорентгеноспектрального анализа было проведено исследование характера распределения элементов состава в стальном слое композита и в бронзовой матрице слоя ЛКМ. По полученным данным было построено распределение железа и меди, а также цинка, олова, марганца и никеля в компонентах композита. Анализ данных показал, что диффузия железа в бронзу

матрицы ЛКМ проходит в среднем на глубину 75-100 мкм. Медь проникает в стальной слой на глубину 50-75 мкм. Происходит диффузия цинка и олова в сталь.



а

б

Рисунок1 – Панорама изменения содержания Cu и Fe (а) и структуры (б) с дисперсией стальных гранул по сечению в биметалле «сталь + ЛКМ».

Диффузионный слой в стали обогащается оловом на глубину до 200 мкм, а цинком – 25 мкм. Сюда же диффундирует из бронзы ЛКМ никель, который в стали отсутствует. Глубина его проникновения не превышает 50 мкм, а максимум содержания составляет 0,25%. Марганец присутствует как в стали, так и в бронзовой матрице ЛКМ. Прослеживается снижение его количества в стали в направлении к границе соединения слоев композита. Однако в матричном сплаве его содержание возрастает всего на 0,4-0,6% на расстоянии ≈ 100 мкм от границы.

Ширина пограничного слоя в литых биметаллах, в которых происходит изменение содержания Fe в медном сплаве и Cu в стали основного слоя, примерно одинакова и составляет в среднем 100-150 мкм. В этом же интервале наблюдается диффузионный перенос Sn, Zn (из медного сплава), Mn (из стали). В результате в зоне взаимодействия возможно образование сложных фаз, обуславливающие увеличение твердости переходного слоя.

Список литературы

1. Смирягин А.П. и др. Промышленные цветные металлы и сплавы // М.:Металлургия. – 1974. – 488 стр.

2. Астров Е.И. Плакированные многослойные металлы // М.: Metallurgia. – 1965. – 240 стр.

УДК 621.74:669.231.7

Б. Г. Зеленый

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев
Тел.: (044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@yandex.ua

ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТАЛОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Для надежной работы деталей машин и оборудования при эксплуатации в условиях высоких температур важное значение имеют показатели механических свойств и усталости материала детали при циклическом изменении температуры и постоянном напряжении (термическая усталость).

Исследовали механические свойства (в интервале температур 20-700 °С) и термическую усталость (при циклическом изменении температуры 200 ↔ 700 °С) высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧ), легированного: 0,3 % Ni и 0,27 % V (пл. №1); 3,6 % Si и 1,5 % Mo (пл. №2); 0,88 % Ni, 0,13 % V и 0,35 Mo (пл. №3) в литом состоянии. Структура металлической основы ВЧ феррито-перлитная (45-55 % Ф), степень сфероидизации графита (ССГ) 90-93 %, размер графита ШГд25 (ГОСТ 3443-87), количество карбидов до 4 %. Термическую усталость ВЧ определяли по количеству циклов до разрушения образца при нагреве по треугольному (длительность цикла 40 с) и трапецеидальному (длительность цикла 90 с) режимам нагрева на трубчатых образцах с толщиной стенки 1,0 мм*. Максимальное напряжение при испытаниях образцов составляло 0,85-0,9 $\sigma_{0,2}$ определенное при температуре 20 °С.

Повышение температуры испытаний до 200 °С снижает прочностные показатели (σ_B , $\sigma_{0,2}$) ВЧ на 10-12 % и практически не влияет на его пластичность. В интервале температур 200-500 °С снижение показателей σ_B и $\sigma_{0,2}$ составляет для чугуна пл. №1 – 12-16 %, пл. №2 – 8-11 %, пл. №3 – 3-6 %. Пластические свойства (δ , ψ) ВЧ пл. №1 практически не изменились, а ВЧ пл. №2 и пл. №3 увеличились на 30-40 %. При температуре испытаний 600 °С показатели σ_B , $\sigma_{0,2}$ для всех исследованных сплавов ВЧ снизились в 1,9-2,2 раза. Следует от-

метить, что комплекснолегированный Ni, V и Mo ВЧ пл. №3 по показателям прочности (σ_b , $\sigma_{0,2}$) превышал на 150-200 МПа показатели ВЧ пл. №1 и пл. №2 при температуре испытаний 20 °С.

Количество циклов до разрушения образцов при напряжениях от 220 МПа до 400 МПа по треугольному режиму для всех вариантов по составу ВЧ в 1,5-1,8 раза больше, чем при трапецеидальном режиме нагрева, что вызвано длительностью (50 с) изотермической выдержки при максимальной температуре (700 °С). По количеству циклов до разрушения ВЧ пл. №2 и пл. №3 превосходят ВЧ пл. №1 в 1,2-1,5 раза при термоциклировании по треугольному режиму при напряжениях более 320 МПа. Термическая усталость ВЧ исследованных составов при нагреве по трапецеидальному режиму близка по показателям по количеству циклов до разрушения.

Исследования показали, что термическая усталость высокопрочного чугуна с шаровидным графитом зависит от степени его легирования и снижается при увеличении продолжительности выдержки при максимальной температуре и увеличении нагрузки на испытуемый образец.

** - определение термической усталости проведены в ИПП НАН Украины к.т.н. Гопкало А. П.*

УДК 620.187: 669.111.225

В. Г. Иванов, В. П. Пірожкова, В.В. Луньов

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

МІКРОРЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНИЙ ТА ПЕТРОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ВКРАПЛЕНЬ ГРАФІТУ У ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНАХ

Залучення сучасного лабораторного обладнання та нових методів дослідження вкраплень графіту у високоміцних чавунах буде сприяти розробці істинного механізму утворення кулястого графіту, відкриє широкі можливості для керування структурою та властивостями високоміцного чавуну та дозволить збільшити масштаби використання цього матеріалу для отримання литих виробів найрізноманітнішого призначення.

Вивчали вкраплення графіту у високоміцних чавунах за допомогою мікрорентгеноспектрального та петрографічного методу.

Дослідженню піддавали високоміцні чавуни, що відповідали марці ВЧ 500-2 (ДСТУ 3925-99) і були отриманні на шихті з різної кількістю переробних чушкових чавунів, аж до повної їх відсутності у складі шихти. Для доведення до потрібного хімічного складу використовували сталевий брухт (Ст. 3) та феросиліцій (ФС45). Чавуни виплавляли у індукційній печі місткістю 30 кг у кислій футерівці. Кулястий графіт у всіх випадках отримували за рахунок додавання на дно нагрітого ковша нікель-магнієвої лігатури, також додатково використовували вторинне модифікування феросилікобарієм. Відливали стандартні проби для контролю хімічного аналізу та структури чавуну.

Мікрорентгеноспектральний аналіз проводили за допомогою електронних растрових мікроскопів: SUPRA 40 WDS (Karl Zeiss), JSM-6360 та PEM-106.

Петрографічні дослідження виконували у відбивному світлі на мікроскопі МБИ-6. Екстраговані вкраплення графіту вивчали у прохідному світлі на кристалооптичному мікроскопі МИН-8 з використанням стандартних наборів імерсійних рідин.

Встановлено, що у вкрапленнях графіту крім власне вуглецю присутні і інші елементи, що містяться у чавунах: магній від 0,10 до 0,26 %, залізо переважно від 0,5 до 1,0 %, кисень до 7,0 % та іноді значно менша кількість інших елементів (алюмінію, кальцію, кремнію та ін.). Особливою нерівномірністю розподілу за перерізом вкраплення графіту характеризується магній, спектральна крива якого має хаотичні концентраційні піки.

У відповідності з даними мікрорентгеноспектрального аналізу вагові частки магнію, кисню та заліза добре узгоджується між собою та свідчать про утворення складного нестехіометричного складу субокислів магнію та заліза. Тобто у момент модифікування чавуну відбувається взаємодія магнію з окисом вуглецю з утворенням складної метастабільної газової фази субокислів магнію, заліза та інших елементів. Слід відзначити, що парова субокисна фаза заліза добре взаємодіє з окисом вуглецю, внаслідок чого деякі агрегати графіту набувають магнітних властивостей.

Внаслідок дефіциту кисню із-за високого вмісту кремнію, марганцю та наявності інших елементів з високою спорідненістю, при модифікуванні магнієм у чавуні утворюються з'єднання зниженої валентності. Останні, знаходячись спочатку у газовій фазі потрапляють у порожнини, які згодом будуть заповнені графітом, розпадаються на метал та окисел вищої валентності. Більш стійкі субокисли, магнію, алюмінію, кальцію, кремнію (Mg_2O , Al_2O , Ca_2O , Si_2O) добре взає-

модіють між собою, добре розчиняються у своїх окислах, утворюючи тверді розчини складного та перемінного складу. Вони також дифундують разом з вуглецем та впливають на процес формування вкраплень графіту.

У прохідному світлі виявлений субокис магнію, що складав оболонку газової бульбашки, у якій потім сформувалося вкраплення графіту кулястої форми. Субокис магнію був світло-сірого кольору зі слабим зеленуватим відтінком, напівпрозорий, ізотропний, що мав показник світлопереломлення $N=1,770$ та вище. На відміну окис магнію MgO відрізняється кубічної кристалічною структурою, прозорий, ізотропний, з показником світлопереломлення $N=1,737$, відповідає стехіометричному складу та легко визначається у прохідному світлі.

Важливий інтерес становлять вкраплення графіту, у яких не завершився процес сфероїдизації. У таких вкрапленнях виявлений конденсат субокислів інших елементів (кальцію, алюмінію, кремнію), що розчиняються у рідкому чавуні та перешкоджають повному формуванню кулястих вкраплень графіту.

Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що нестехіометричні з'єднання заліза, магнію та ін. елементів (субокисли) приймають активну участь у формуванні вкраплень графіту у високоміцних чавунах.

УДК 669.017.16: 537.528

А. В. Иванов, Н.А. Федченко

Институт импульсных процессов и технологий

НАН Украины, Николаев,

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ

Одним из перспективных направлений в данной области является высоковольтная электроимпульсная обработка расплавов электрическим током в импульсно-периодическом режиме [1]. Однако, широкое распространение такого метода воздействия на расплавы в технологиях литья сдерживается недостаточным объемом теоретических и экспериментальных данных, которые бы увязывали параметры обработки, факторы воздействия и структуру получаемого литого металла в единое целое. Поэтому получение новых экспериментальных

данных, которые бы позволили установить взаимосвязь и влияние параметров такой обработки на процесс и результат формирования благоприятной структуры и свойств отливок из алюминиевых сплавов, являются актуальной научно-практической задачей.

Была поставлена цель на примере технически чистого алюминия экспериментально исследовать влияние высоковольтной электроимпульсной обработки на подавление транскристаллизации и уменьшение зоны столбчатых кристаллов.

Исследования проводились в два этапа:

1 этап. Реализация искусственного одностороннего охлаждения с дна емкости, в которой находился расплав технически чистого алюминия. Обработка проводилась в различных температурных диапазонах интервала кристаллизации, что соответствовало разному времени обработки,

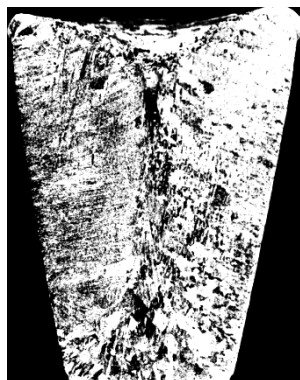
2 этап. Обработка расплава в температурном интервале выше точки ликвидус в печи с последующей заливкой в литейную форму и реализация 3-х стороннего охлаждения расплава. Время обработки составляло 40 с.

На первом этапе было установлено, что с помощью температурного интервала обработки при неизменных энергетических параметрах можно уменьшить высоту зоны столбчатых кристаллов в среднем на 50% и уменьшить размер дендритов в литых образцах из обработанного расплава более чем в 2,5 раза (табл.).

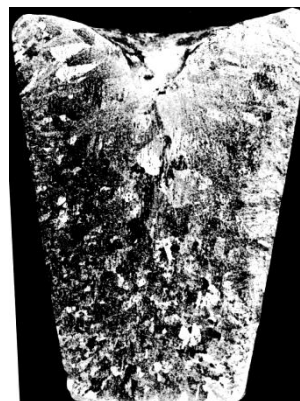
Таблица – Показатели макроструктуры отливок

Время обработки, с	без обра- ботки	40	60	80	100
Ширина зоны столбчатых кри- сталлов, мм	35	30	21	22	22
Диаметр столбчатых зерен, мм	5,6	4,7	3,7	4,3	3,7
Диаметр равноосных зерен, мм	5,7	4,7	3,6	4,2	2,7

Установлено, на этапе 2, что при реализации оптимального режима обработки расплава в надликвидусной зоне возможно полностью убрать транскристаллизацию в слитке и обеспечить его равномерное мелкодендритное строение (рис.).



без обработки



с обработкой

Рисунок. Макроструктуры необработанного и обработанного образцов,

Список литературы

Ivanov A. V., Tsurkin V. N., Sinchuk A. V. Electric current treatment of liquid and crystallizing alloys in casting technologies // Surf. Eng. Appl. Elect. –2011. – Vol. **46**, № 5. – P. 456–464.

УДК 669.13.018.256

Л. Х. Иванова, А. Ю. Калашникова, Ю.О. Юрченко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ

Объектом исследования был корпус насоса, традиционного изготавливаемого из износостойкого хромистого чугуна ИЧХ28Н2. Корпус насоса является быстро изнашиваемой деталью багерного насоса для перекачки высоко абразивной пульпы, который применяется на горнообогатительных и горно-металлургических предприятиях, теплоэлектростанциях, технологических линиях обогащения полезных ископаемых. В процессе эксплуатации насос подвержен интенсивному гидроабразивному износу. Условия эксплуатации таких насосов усложняются тем, что в процессе перекачки жидкой пульпы они подвержены кавитационной ударной нагрузке, когда локализованные микрообъемы

рабочей поверхности насоса подвергаются многократным гидравлическим ударам, в результате которых происходит разрушение детали.

Для производства корпусов насосов применяют износостойкие чугуны с высоким содержанием хрома. В связи с тем, что хромистые чугуны с содержанием хрома более 29% (углерод более 3%) имеют невысокую износостойкость и прочность заготовок, а при содержаниях хрома в пределах 12-20% наблюдается наибольшая износостойкость сплава, целью работы было исследование структуры и свойств модифицированных чугунов с пониженным содержанием хрома.

Исследуемые сплавы (степень эвтектичности 0,79...0,96) выплавляли в дуговой печи ДСП-3,5А. В качестве шихтовых материалов применяли возвраты производства ИЧХ28Н2 и высокоуглеродистый феррохром, для науглероживания применяли стандартные карбюризаторы, в том числе серый чугун. В качестве модификаторов применяли лигатуры КМ-1 (ФС15Т20М25РЗМ10), КМ-1 (СРЗМ30) и КМ-3 (КМг13). Модификаторы дробили до фракции 2...7 мм с присутствием пылевидной фракции 5...8%. Модифицировали расплав в ковше емкостью 60 кг. Из каждой плавки заливали два комплекта образцов: до модифицирования и модифицированные. Образцы для определения механических свойств отливали в песчано-глинистые формы и формы из ХТС. Выбивку производили после охлаждения образцов до 30...70°C. Для улучшения обрабатываемости и снятия напряжений проводили отжиг образцов при 750 °С в течение 50 мин.

Исследование микроструктуры опытных образцов из высокохромистых чугунов показало, что она состояла из аустенита, феррита, карбидов Cr_7C_3 и $Cr_{23}C_3$. Дендриты твердой карбидной фазы расклинивались, прорастая в аустенитной пластичной основе. Структурные составляющие в модифицированных сплавах были более мелкими в сравнении с немодифицированными [1-3].

Предел прочности определяли на образцах длиной 70 и 40 мм. Испытания на образцах длиной 70 мм не были достоверными, так как они разрушались при сравнительно небольших нагрузках в нехарактерном месте. Проведенные исследования показали повышенные показатели временного сопротивления модифицированных сплавов по сравнению с немодифицированными: при обработке модификатором с КМ-1 на 33,5%, КМ-2 – на 19,4% и КМ-3 – на 7,9%. Анализ рельефа поверхности излома показал, что в немодифицированных образцах был транскристаллический излом по границам крупных зерен и по поверх-

ности дендритов, вызванный грубым строением структуры сплава. Излом подтвердил хрупкое разрушение образцов. В изломах модифицированных образцов наряду с хрупким присутствовало и вязкое разрушение, т.е. наблюдали смешанный тип разрушения.

Испытание длительной прочности корпусов насосов показало повышение ее на 38%.

Список литературы

1. Иванова Л.Х. Застосування системного підходу для підвищення службових властивостей чавунних виливків / Л.Х. Иванова, Я.С. Маймур, А.Ю. Калашникова, Т.В. Захарова // Системні технології.– 2011.– №5.–С.173–177.

2. Иванова Л.Х. Литье из модифицированного чугуна / Л.Х. Иванова, А.Ю. Калашникова, А.С. Алексеенко // Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: Зб. матеріалів XIII міжнарод. наук.-техн. конф. м.Запоріжжя, 6-8 жовт. 2014 р.- Запоріжжя: ЗНТУ, 2014.- С.110-112.

3. Иванова Л.Х. Исследование структуры и свойств валковых комплексномодифицированных чугунов / Л.Х.Иванова, Е.В.Колотило, А.Ю.Калашникова // Вісник Дніпропетровського університету. – 2012.– т.20.– №4.– Серія «Ракетно-космічна техніка».– 2012.– Вип. 15, т.1.– С.67–73.

УДК 621.785.5: 621.9.048.7

Идан Алаа Фадил, О.В. Акимов

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ

В настоящее время актуальным является вопрос применения ресурсосберегающих технологий для повышения эксплуатационного срока службы нагруженных стальных деталей. Предъявляемые высокие требования к качеству рабочего слоя с одновременным использованием более дешевой матрицы, дали толчок для развития новых экономически целесообразных технологий поверхностного упрочнения, одной из которых является поверхностное легирование, достигаемое различными методами.

Легирование (от лат. *ligo* – связываю, соединяю) – введение добавок (металлов, неметаллов и их соединений) в металлы и сплавы для придания им определенных физических, химических, механических свойств.

При легировании металлов и сплавов могут образовываться твердые растворы, смеси двух и более фаз, интерметаллиды, карбиды, нитриды, оксиды, бориды и другие соединения легирующих элементов с основой сплава или между собой.

В результате легирования существенно меняются физико-химические характеристики исходного металла или сплава. Легирующие элементы влияют на температуру плавления, характер дефектов кристаллической решетки, на формирование зерен и тонкой кристаллической структуры, область существования аллотропических модификаций и кинетику фазовых превращений, на дислокационную структуру, жаростойкость и коррозионную стойкость, электрические, магнитные, механические, диффузные и многие другие свойства сплавов.

Разработка новых ресурсосберегающих, экологически чистых технологий поверхностного легирования является важной и актуальной задачей.

Лазерное легирование увеличивает многообразие возможных структур диффузионных слоев по сравнению с традиционными способами химико-термической обработки. Фазовым составом слоя можно управлять путем регулирования трех основных параметров обработки: значением энергии импульса лазерного излучения, количеством наносимой легирующей обмазки и степенью расфокусированности лазерного луча.

Лазерное легирование приводит к существенному упрочнению модифицированного слоя, при этом твердость зон легирования определяется, главным образом, твердостью самих химических соединений. При лазерной обработке поверхности наблюдается повышение износостойкости сталей.

УДК 669.13.018.256

А. Ю. Калашникова А.Ю., Л. Х. Иванова

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ

Объектом исследования был корпус насоса, традиционного изготавливаемый из износостойкого хромистого чугуна ИЧХ28Н2. Корпус насоса является быстро изнашиваемой деталью багерного насоса для перекачки высоко абра-

зивной пульпы, который применяется на горнообогатительных и горно-металлургических предприятиях, теплоэлектростанциях, технологических линиях обогащения полезных ископаемых. В процессе эксплуатации насос подвержен интенсивному гидроабразивному износу. Условия эксплуатации таких насосов усложняются тем, что в процессе перекачки жидкой пульпы они подвержены кавитационной ударной нагрузке, когда локализованные микрообъемы рабочей поверхности насоса подвергаются многократным гидравлическим ударам, в результате которых происходит разрушение детали.

Для производства корпусов насосов применяют износостойкие чугуны с высоким содержанием хрома. В связи с тем, что хромистые чугуны с содержанием хрома более 29% (углерод более 3%) имеют невысокую износостойкость и прочность заготовок, а при содержаниях хрома в пределах 12-20% наблюдается наибольшая износостойкость сплава, целью работы было исследование структуры и свойств модифицированных чугунов с пониженным содержанием хрома.

Исследуемые сплавы (степень эвтектичности 0,79...0,96) выплавляли в дуговой печи ДСП-3,5А. В качестве шихтовых материалов применяли возвраты производства ИЧХ28Н2 и высокоуглеродистый феррохром, для науглероживания применяли стандартные карбюризаторы, в том числе серый чугун. В качестве модификаторов применяли лигатуры КМ-1 (ФС15Т20М25Р3М10), КМ-1 (СРЗМ30) и КМ-3 (КМг13). Модификаторы дробили до фракции 2...7 мм с присутствием пылевидной фракции 5...8%. Модифицировали расплав в ковше емкостью 60 кг. Из каждой плавки заливали два комплекта образцов: до модифицирования и модифицированные. Образцы для определения механических свойств отливали в песчано-глинистые формы и формы из ХТС. Выбивку производили после охлаждения образцов до 30...70°C. Для улучшения обрабатываемости и снятия напряжений проводили отжиг образцов при 750 °С в течение 50 мин.

Исследование микроструктуры опытных образцов из высокохромистых чугунов показало, что она состояла из аустенита, феррита, карбидов Cr_7C_3 и $Cr_{23}C_3$. Дендриты твердой карбидной фазы расклинивались, прорастая в аустенитной пластичной основе. Структурные составляющие в модифицированных сплавах были более мелкими в сравнении с немодифицированными.

Предел прочности определяли на образцах длиной 70 и 40 мм. Испытания на образцах длиной 70 мм не были достоверными, так как они разрушались при

сравнительно небольших нагрузках в нехарактерном месте. Проведенные исследования показали повышенные показатели временного сопротивления модифицированных сплавов по сравнению с немодифицированными: при обработке модификатором с КМ-1 на 33,5%, КМ-2 – на 19,4% и КМ-3 – на 7,9%. Анализ рельефа поверхности излома показал, что в немодифицированных образцах был транскристаллический излом по границам крупных зерен и по поверхности дендритов, вызванный грубым строением структуры сплава. Излом подтвердил хрупкое разрушение образцов. В изломах модифицированных образцов наряду с хрупким присутствовало и вязкое разрушение, т.е. наблюдали смешанный тип разрушения.

Испытание длительной прочности корпусов насосов показало повышение показателя на 38%.

УДК 539.215:536.7:669.13

В. Т. Калинин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО СЛОЯ ОТЛИВОК ПУТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Одним из способов продления срока службы деталей за счет снижения образования поверхностных дефектов является защита рабочей поверхности металлокерамическим (МК) слоем, получаемым в процессе их литья [1].

С целью повышения износостойкости рабочего слоя отливки и выбора оптимального наноматериала в составе покрытия, наносимого на внутреннюю поверхность литейной формы, поочередно вводили в различном соотношении нанодисперсные порошки карбонитрида титана (**TiCN**), карбида хрома (**Cr₃C₂**) и карбида вольфрама (**WC**) с размером частиц 50...100 нм, полученные методом плазмохимического синтеза. Наноматериалы обладают уникальными физико-химическими свойствами, существенно отличающимися от свойств таких же материалов в массивном состоянии, причем эти свойства могут в определенной степени передаваться получаемым из них или с их участием отливаемым изделиям [2,3]. После заливки расплава чугуном и охлаждения формы на

наружной рабочей поверхности отливки образовывался насыщенный твердыми частицами МК слой.

В результате выполненных исследований установлено, что из исследованных нанодисперсных соединений наилучшие результаты по воздействию на макро- и микроструктуру чугуна оказывает нанодисперсный порошок карбонитрида титана (TiCN), имеющий наиболее высокую микротвердость (32000 МПа) из известных тугоплавких соединений. При использовании этого компонента происходит формирование металлокерамического слоя отливки на глубину до 15...20 мм.

Исследование макро- и микроструктуры образцов, вырезанных из поверхностного слоя отливок, показало, что структура МК слоя, полученного пропиткой нанопорошка, имеет тонкодисперсное строение и состоит из нановключений карбонитрида титана и титано-карбидной эвтектики. В переходной зоне структура состоит из карбонитридов титана, графитных включений и перлита. При удалении от МК слоя количество карбидов уменьшается при увеличении количества перлита до соответствующего матричному чугуна.

Опытные образцы испытывали на износостойкость по потере массы образца при сравнении с образцами из отбеленного хромоникелевого (0,5% Cr, 1,5% Ni) чугуна, износостойкость которого приняли за 1. Результаты испытаний показали, что наиболее высокую износостойкость имеют сплавы, в которых упрочняющая фаза не растворяется в металле-связке. Коэффициент износостойкости образцов из металлокерамического слоя на основе **TiCN** составляет 2,5...3,2.

Механизм взаимодействия расплава чугуна со слоем порошка нанодисперсного соединения включает следующие процессы: нагрев слоя порошка (или пасты) за счет физического тепла расплава; фильтрация расплава в поры порошка и дальнейший его разогрев; распределение частиц нанопорошка в жидкой фазе в момент фильтрации расплава; дальнейшее распределение частиц нанопорошка в жидкой фазе после заполнения межзеренного пространства; диффузионные процессы при охлаждении пропитанного металла в твердом состоянии.

Таким образом, технология применения нанопорошков в качестве упрочняющих веществ для получения износостойкого литого МК слоя является перспективным направлением в литейном производстве. Износостойкость ра-

бочего слоя отливок, упрочненного нанодисперсным карбонитридом титана в 2,5...3.2 раза выше износостойкости исходного чугуна.

Полученные результаты по использованию нанопорошков позволяют сделать вывод о возможностях их использования для повышения механических свойств, уменьшения износа и улучшения качества металлоизделий, получаемых из чугуна методами литья.

Список литературы

1. *Найдич Ю.В.* Пропитка пористых тел металлическими расплавами / *Найдич Ю.В.* // Журнал физической химии. -1979. -№ 33. –С.36-38.

2. *Калинин В.Т.* Роль тугоплавких наночастиц в модифицирующих процессах при кристаллизации чугуновых отливок /*Калинин В.Т., Кондрат А. А.* // Металознавство та термічна обробка металів. - 2009. - № 1 (44). – С.14-21.

3. *Калинин В. Т.,* Прогнозирование эффективности различных типов модификаторов при обработке чугунов /*Калинин В. Т., Кондрат А. А.* // Процессы литья. – 2010. - № 6. – С. 12-19.

УДК 544.273:669.715-404

Д. С. Каніболоцький , А. М. Верховлюк, О. А. Щерецький, Г. А. Верховлюк

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

МОЛЕКУЛЯРНА ДИНАМІКА РОЗПЛАВУ AL – 0,2 % TI

Відомо, що якість виливків залежить від властивостей вихідного розплаву. Фізичною та хімічною обробкою розплаву можна впливати на структуру та механічні властивості одержаних з них твердих сплавів. Численні дослідження розплавів методами рентгеноструктурного аналізу, ядерного магнітного резонансу, малокутового розсіювання нейтронів та мас-спектрометрії показали, що при незначних перегрівках над ліквідусом металічні розплави мають мікронеоднорідну структуру та містять угруповання атомів (кластери), які характеризуються ближнім порядком та за своєю будовою можуть бути подібними до кристалів або квазікристалів. Вважається, що саме утворення, перетворення та дисоціація таких кластерів в розплаві зумовлюють вплив фізичної та/або хімічної обробки розп-

лаву на структуру та властивості виливок [1]. Але на даний час не існує єдиної теорії будови металічних розплавів, так само як і єдиних уявлень про механізм впливу будови рідини на властивості виливки. Таким чином нові як експериментальні так і теоретичні дослідження структури рідких сплавів є актуальними.

Алюмінід титану Al_3Ti має дві кристалографічні модифікації: стабільну з тетрагональною граткою ($a = 3,854 \text{ \AA}$, $c = 8,584 \text{ \AA}$) та метастабільну з ГЦК граткою ($a = 3,978 \text{ \AA}$). Остання структура близька до чистого алюмінію (ГЦК, $a = 4,045 \text{ \AA}$). При кристалізації розплаву $Al - Ti$ з вмістом титану до 6 мас. % зі швидкістю охолодження $10^5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ утворюється дрібнодисперсна структура, що містить метастабільні кристали Al_3Ti [1]. Тобто титан є одним з перспективних модифікаторів алюмінієвих сплавів, що здатен утворювати центри кристалізації. Тому в якості об'єкта дослідження обрані сплави $Al - Ti$.

З використанням пакету програм LAMMPS виконано моделювання молекулярної динаміки рідких сплавів $Al - 0,2 \text{ мас. \% } Ti$ в інтервалі температур від $677 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом двох наносекунд ($2 \cdot 10^{-9} \text{ c}$). Початковою структурою був нескінченний ГЦК монокристал Al , у якому відповідна частина атомів Al замінена на атоми Ti . Енергію взаємодії між атомами розраховували за допомогою потенціалу Zore-Ti-Al-2003.eam, рівняння руху інтегрували за алгоритмом почергового випередження з кроком 10^{-15} c , координати атомів записували у вихідний файл траєкторії з кроком 10^{-12} c .

Визначені радіальні функції розподілу, координаційні числа, коефіцієнти самодифузії компонентів, об'єм та кількість граней многогранників Вороного, густина, ентальпія, потенційна та повна енергії. Перші 10^{-10} c траєкторії інтерпретувалися як врівноваження системи під час та після плавлення, тому не враховувалися при розрахунку відповідних властивостей.

Встановлено, що при температурах $677 \text{ }^\circ\text{C}$, $700 \text{ }^\circ\text{C}$ та $740 \text{ }^\circ\text{C}$ кристал не встигає розплавитися протягом 10^{-9} c . Тому для одержання траєкторій при цих температурах сплав спочатку нагрівали до $840 \text{ }^\circ\text{C}$, а потім охолоджували до відповідної температури. При $790 \text{ }^\circ\text{C}$ сплав плавиться за $48 \cdot 10^{-12} \text{ c}$, при $840 \text{ }^\circ\text{C}$ і вище – за від $9 \cdot 10^{-12}$ до $4 \cdot 10^{-12} \text{ c}$. Визначено, що при збільшенні температури від $677 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ перший пік радіальної функції розподілу навколо атомів Ti зменшується від 3,72 до 2,91, навколо атомів Al – від 2,78 до 2,18. Середній об'єм многогранників Вороного збільшується для атомів Ti від $19,57 \text{ \AA}^2$ до $20,77 \text{ \AA}^2$, для атомів Al – від $18,56 \text{ \AA}^2$ до $19,52 \text{ \AA}^2$, середня кількість граней змінюється від 15,21 до 15,38 для атомів Ti та від 14,40 до 14,69 для атомів Al . При цьому

потенційна та повна енергії системи зростають від $-300,5$ кДж/моль та $-288,7$ кДж/моль до $-288,2$ кДж/моль та $-267,3$ кДж/моль, а потенційна енергія Ті змінюється від $-309,2$ кДж/моль до $-296,4$ кДж/моль, відповідно. Також зростають коефіцієнти самодифузії Al та Ті (від $5,0 \cdot 10^{-9}$ м²/с та $2,6 \cdot 10^{-9}$ м²/с до $18,5 \cdot 10^{-9}$ м²/с та $12,2 \cdot 10^{-9}$ м²/с), а густина розплаву зменшується (від $2,42$ до $2,30$ г/см³). Одержані результати добре узгоджуються з літературними даними.

Одержані дані свідчать, що атоми титану більш схильні, ніж атоми алюмінію, координувати навколо себе атоми алюмінію, тобто у розплаві утворюються кластери з центральним атомом титану. При збільшенні температури ці кластери стають менш стійкими.

Список літератури

1. *Бродова И. Г.* и др. Расплавы как основа формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 371 с.

УДК: 536.242:62-405.8

В.В. Карпов, В.Ю. Карпов, С.И.Губенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕДНЫХ ГАЗАРОВ В КАЧЕСТВЕ МИКРОТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Современные требования к системам охлаждения полупроводниковой и компьютерной техники возрастают непрерывно. Требуются теплоотводы и холодильники с минимальными размерами и большой эффективностью, желательно плоские и не требующие строгой ориентации в пространстве. Теплофизические характеристики существующих теплообменников ограничиваются недостаточным уровнем теплопроводности применяемых материалов. Одним из путей увеличения эффективной теплопроводности материала является использование переноса скрытой теплоты испарения, то есть использование принципа работы тепловых труб.

В литературе имеются данные, что при комнатной температуре тепловая труба с аммиаком имеет теплопроводность до 1000 раз выше теплопроводности медного стержня таких же размеров [1,2].

Если необходимо получить большую удельную поверхность теплообмена у радиатора в виде ряда тонких, длинных и узких пластин, разделенных узкими зазорами и при этом увеличить теплопроводность, то следует использовать тепловые микротрубки, испаритель или конденсатор которых помещается в тонкую пластину. Для этих целей, подходит новый материал – газар, в котором металлическая матрица, пронизана цилиндрическими порами, размерами которых можно управлять в процессе кристаллизации [3].

Исследовалась теплопроводность газаров на базе меди, заполненных различными теплоносителями (вода, этиловый спирт 96%) по сравнению с образцами из монолитной меди тех же размеров. Процент заполнения капилляров (пор) газара теплоносителем составлял 30%. К образцам подводили тепло мощностью трех фиксированных величин – 1,5; 3; 6 Вт/см². В ходе эксперимента измеряли температуру и скорость нагрева образца со стороны подвода и отвода тепла.

Исследования показали, что на теплопроводность микротепловой трубы из газаров влияет не только используемый теплоноситель, но и величина подводимой тепловой мощности. Для всех исследованных подводимых тепловых мощностей монолитный образец нагревался быстрее до температур 40, 70, 100°C, соответственно за 10, 5 и 6 мин. Образец микротепловой трубы из газара с водяным теплоносителем при минимальной подводимой тепловой мощности (1,5 Вт/см²) не достиг заданной температуры, а со спиртовым теплоносителем не нагрелся даже до 30°C. При более высоких подводимых мощностях (3 Вт/см² и 6 Вт/см²) тепловой поток через пластины газаров возрастает в большей степени, чем через пластину из монолитного металла, но требуется больше времени для его выхода на заданную температуру. Это свидетельствует о том, что образцы микротепловых труб из газаров проводят тепло значительно интенсивнее (имеют большую теплопроводность), чем аналогичные по размерам монолитные металлические образцы.

При отклонении направления пор в газарах от вертикали также показывает их более высокую теплопроводность по сравнению с монолитным образцом. Равные величины теплопроводности монолитного образца и газара фиксируются

лась только при горизонтальной ориентации пор с любой теплоотводящей жидкостью.

Исследованные закономерности влияния величины подводимой тепловой мощности, вида теплоносителя, а также ориентировки пор в микротепловых трубах из медных газаров на их теплопроводность, показали значительные преимущества использования газаров по сравнению с монолитными образцами меди. Это раскрывает большие перспективы применения медных газаров в качестве микротепловых труб, в том числе при заметных отклонениях осей труб от вертикального положения, что позволит существенно повысить миниатюризацию радиаторов охлаждения изделий, что улучшит многие свойства полупроводниковой техники.

Список литературы

1. *Белов С.В.* Теплопроводность твердых тел.// Белов С.В. М. 1984. 174с.
2. *Елисеев В.Б.* Что такое тепловая труба// Елисеев В.Б., Сергеев Д.И. М. Энергия. 1971. 68с.
3. *Шаповалов В.И.* Легирование водородом// Шаповалов В.И. Днепропетровск. Журфонд. 2013. 385с.

УДК: 669.187.28:669.162.275

Н. В. Кирьякова, Е. А. Ясинская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ, ЛЕГИРОВАННАЯ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА

В работе изучена возможность применения в качестве легирующей составляющей шихты - ванадиевого концентрата, непосредственно при жидкофазной восстановительной плавке, для получения углеродистой низколегированной стали. В качестве шихты использовали исходную сталь, содержащую 0,28%С; 0,32%Si; 0,35%Mn; 0,16%Ni; 0,23%Cr и ванадиевый концентрат состава 0,20%V₂O₅; 16%SiO₂; 9,5%MnO; 8,5%TiO₂; 3,0% Cr₂O₃; 2,5%CaO; 3,0%MgO; 2,0%Al₂O₃; 35,5% Fe₂O₃. В качестве восстановителя флюсообразующей присад-

ки использовали ферросилиций марки ФС65 и известь. Качество выплавленного металла зависело, в том числе и от содержания газов и неметаллических включений, эти параметры оказывали заметное влияние на эксплуатационные характеристики опытной стали. Результаты исследований показали, что введение в шихту ванадиевого концентрата обеспечило содержание кислорода 0,0135% и азота 0,0115% в опытной стали, что изменялось незначительно по сравнению с исходной сталью: 0,0125 и 0,0105%, соответственно. В работе проводили исследование влияния ванадиевого концентрата на величину и распределение неметаллических включений. Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что в исходной стали, наблюдались более крупные включения неправильной формы, большей частью скученные и междендритного расположения. Такая форма и расположение неметаллических включений, снижает свойства стали. В опытной стали (содержащей 0,15 и 0,35 % ванадия) неметаллические включения мельче (до 1мкм), имели округлую форму и более равномерно распределялись в матрице сплава, что является одним из факторов повышения свойств стали.

Распределение неметаллических включений по размерным группам в исходной и опытной стали показало, что наибольшее количество включений имели размер близкий к 1 мкм и всего лишь 1-2% от общего количества имели величину более 1 мкм.

В исходной и опытной стали преобладали сульфидные и оксисульфидные включения, а в ванадиевой стали иногда встречались и силикаты глобулярной формы. Следует отметить, что в стали легированной ванадием, сульфидосодержащие включения имели благоприятную форму и распределялись в матрице сплава равномерно.

Качественный анализ неметаллических включений в исходной и опытной сталях свидетельствует о том, что особенных различий по составу включений не наблюдалось (таблица 1). В составе сульфидов и силикатов преимущественно содержались кремний и марганец почти в равных количествах. Это обусловлено практически одинаковым содержанием кремния и марганца, и соответственно отношением S:Mn, близким к 1.

Таблица 1. Состав неметаллических включений

Вид включений	Содержание элементов, %			
	Mn	S	Si	P
Силикаты	44,58	-	55,42	-

Сульфиды	49,78	46,54	2,32	1,10
----------	-------	-------	------	------

Исследование микроструктуры экспериментальных образцов показало, что в опытной стали наблюдалось измельчение зерна. Это обусловлено тем, что ванадий как карбидообразующий элемент оказывает тормозящее действие на рост зерна. Вследствие этого размер зерна опытной стали в 2-3 раза мельче, чем в исходной. Более мелкозернистая структура оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях ударных нагрузок и пониженных температур. Выявлено, что легирование ванадием изменяет состав перлитно-ферритной фазы, способствуя образованию ферритной составляющей. Повышение концентрации ванадия в стали с 0,16 до 0,37 % увеличивало количество зернистых выделений феррита на фоне перлитных, хотя феррит по границам зерен не образовывался.

Наряду с исследованиями микроструктуры замерялась микротвердость структурных составляющих изучаемых сталей (таблица 2).

Таблица 2. Микротвердость структурных составляющих исследованных сталей

Сталь	Микротвердость, Н _μ	
	феррит	перлит
Исходная	155	227
Опытная	167	279

Анализ полученных данных показал, что микротвердость структурных составляющих повышалась при легировании ванадием. Это объясняется упрочнением перлитной и ферритной составляющих происходящих, главным образом, за счет увеличения дисперсности перлита и выделения в ферритной матрице карбонитридов ванадия.

Исследование механических свойств данных сталей показало, что наиболее благоприятное сочетание прочности, пластичности и хладостойкости стали, легированной ванадием, наблюдалось при содержании ванадия 0,06-0,16 %. Таким образом, выполненные исследования показали, что легирование углеродистой стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата обеспечило достаточное качество выплавленной стали.

В.А. Клименко, О.І. Шейко, Т.О. Левицька

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут", Київ

Тел.: 050-900-2797, E-mail: vaklym@i.ua**ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ПОРИСТОСТІ ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІЗ
НАПОВНЮВАЧЕМ ДВОКОМПОНЕНТНОГО ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ.**

Однією з основних характеристик формувальної суміші є її пористість. Величина пористості характеризує не лише міру проникнення рідкого металу всередину форми і утворення пригару, але й пропорційна газопроникності формувальної суміші.

Величина пористості формувальної суміші залежить від наявності вологи, дисперсності і кількості в'язучого, характеристик зерен наповнювача в об'ємі суміші. Пористість ущільнених формувальних сумішей зазвичай знаходиться в межах 25-50%.

Якщо розглядати формувальну суміш як систему з кулястих твердих зерен наповнювача однакової величини, то пористість такої ідеальної суміші в значній мірі залежить від величини і співвідношення цих зерен в її об'ємі. Згідно теорії розробленої Сліхтером [1], центри кожних восьми дотичних ідеальних куль утворюють ромбоєдр. Зерна утворюють в просторі, згідно цієї теорії, різні геометричні побудови, що іменуються від найбільш щільного до найбільш розрядженого. При цьому кут між гранями ромбоєдра змінюється від 90° до 60° (Рис.1).

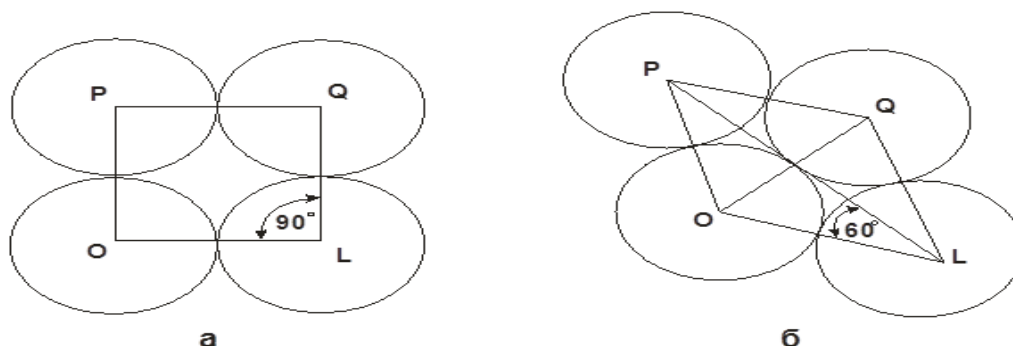


Рис. 1- Розташування ідеальних зерен в просторі за Сліхтером.

Одночасно, пористість не залежить від величини зерен, а залежить від їх відносної конфігурації і лежить в межах $25,9\% < m < 27,6\%$ [2].

Проте в реальних формувальних сумішах наповнювач складається із зерен різних розмірів і форми, що деколи значно відрізняються в діаметрі.

Розглянемо геометричну конфігурацію, коли в суміші присутні зерна двох розмірів, і зерна крупнішого розміру розташовані в кутах тетраедра, а зерна меншого розміру знаходяться в центрі тетраедра (Рис. 2).

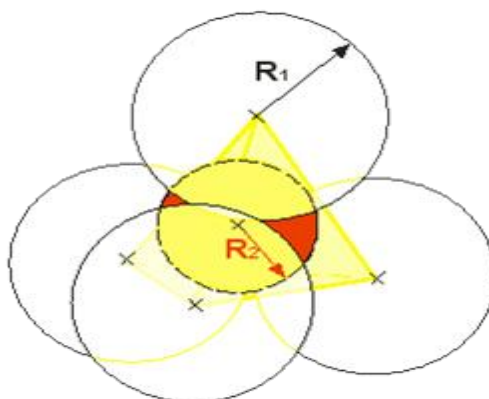


Рис.2 – Розташування зерен у вигляді тетраедра.

У разі ідеально щільної упаковки, тобто коли всі зерна стикаються один одного, радіус зерен меншого розміру буде дорівнювати:

$$R_2 = \frac{H - R_1}{2} = \frac{a\sqrt{\frac{2}{3}} - R_1}{2} = \frac{2R_1\sqrt{\frac{2}{3}} - R_1}{2} = \frac{R_1(2\sqrt{\frac{2}{3}} - 1)}{2} \approx 0,316R_1$$

де: a – довжина ребра тетраедра; R_1 – радіус зерен більшого діаметру; R_2 – радіус зерен меншого діаметру, що розташованого в центрі тетраедра; H - висота тетраедра.

Якщо врахувати, що щільність зерен обох діаметрів однакова, тобто вони складаються з однакового матеріалу, то за умов розташування у вигляді тетраедра мінімальна пористість буде $m_2 = 0,316m_1$, де m_1 – маса зерен більшого діаметру, а m_2 – маса зерен меншого діаметру.

Було проведено експеримент з пластичною формувальною сумішшю, що містила наповнювач у вигляді двох різних фракцій річкового піску. В результаті експерименту встановлено, що найменша пористість спостерігається при, приблизно, рівному співвідношенні використовуваних фракцій.

Враховуючи, що зерна піску не мають ідеально круглої форми, можна вважати отримані результати підтвердженням ймовірності існування каркаса наповнювача, що складається із зерен двох різних діаметрів, у вигляді тетраедра, де в кутах розташовані зерна більшого розміру, а в центрі – меншого.

Література

1. *Лейбензон Л.С.*, Движение природных жидкостей и газов в природной среде. Ленинград.: Гостехиздат, 1947. – 244 с.
2. *Берг П.П.*, Основы учения о формовочных материалах. М.: Машгиз, 1948. – 340 с.

УДК 621.745.55

О.Г. Ковальчук, М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», Київ

ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ

Під час експлуатації деталей машин найінтенсивним зовнішнім впливам піддаються поверхневі шари, тому найчастіше структура і властивості саме поверхневих шарів дають змогу визначити вплив на працездатність виробів в цілому.

Для досягнення високої поверхневої міцності і зносостійкості литих деталей в машинобудуванні використовують різні види оброблення: термічне, хіміко-термічне, лазерне тощо, електрохімічні покриття та наплавлення на поверхні виробів металу із спеціальними властивостями. Проте багатьма з цих методів не вдається одержати шар з потрібними властивостями завтовшки більше 0,3 мм, що недостатньо, особливо для тривалої експлуатації крупних деталей. За даними товщина поверхневого шару із спеціальними властивостями повинна бути не менше 5...10 мм. Наплавленням на поверхні деталі можна одержати шар заданої товщини, але цей процес дуже трудомісткий, дорогий і, крім того, на деяких поверхнях деталей наплавлення металу здійснити практично неможливо.

Для реалізації цієї проблеми перспективними можуть бути способи виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композицій або легованим шаром, який утворюється під час формування виливка в ливарній формі.

Виготовлення деталей поверхневим легуванням призводить до скорочення витрат основних легувальних елементів. Суть цього методу полягає у тому, що на робочі поверхні форми або стрижня при виготовленні виливків, які працюють, наприклад, в умовах інтенсивного зносу, наносять легувальні покриття у вигляді фарб, паст, облицювального шару або використовують вставки, наповнювачами яких є відповідні легувальні елементи або їх суміші. Залитий у форму метал взаємодіє з легувальним покриттям, внаслідок чого поверхня вилівка насичується відповідними елементами із утворенням заданої структури.

Для даного способу використовуються лиття в піщано глинисті форми а більш перспективний у цьому напрямку метод лиття за моделями що газифікуються (ЛМГ) [2], який дозволяє отримувати високоточні виливки з хорошою чистотою поверхні.

Великий практичний інтерес представляє одержання в процесі лиття дифузійних шарів на основі карбідів бору, титану та борид титану , що мають, високу твердість і зносостійкість. Підвищення працездатності деталей машин і механізмів, їх надійності та довговічності забезпечується певною мірою вдосконаленням технології нанесення покриттів що вміщують бор, і хімічним складом легувальних покриттів [1].

Таким чином поверхнєве легування виливків доцільно здійснювати нанесенням на робочі поверхні форм і стрижнів легувальних покриттів, температура плавлення яких нижча за температуру плавлення основного металу.

Тому в разі лиття в піщано-глинисту форму необхідно коригувати розміри форми в місцях нанесення легувального покриття. Таких недоліків позбавлений метод ЛМГ де легувальний шар наноситься на поверхню моделі, що не впливає на розмірну точність одержуваної вилівки і жодного коригування розмірів моделі не вимагається.

Список літератури

1. Мартюшев Н.В. О возможности легирования поверхности отливок нанопорошками // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №4. – С. 22–26.
2. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали // Ползуновский вестник. – 2012. – №1. – С. 73–78.

УДК 621.74

О.С.Комаров, Б.М. Немененок, Т.Д. Комарова, Е.В.Розенберг

Белорусский национальный технический университет г. Минск

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНАТА НАТРИЯ В СОСТАВЕ КРАСОК НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК

Результаты исследований по взаимодействию связующих (лигносульфоната, жидкого стекла, полиэтиленгликоля и алюмината натрия) с различного рода огнеупорными наполнителями, позволили сделать вывод по возможности использования алюмината натрия в качестве связующих литейных красок. Возможны два направления их применения. Первое направление заключается в добавке к существующим краскам на основе дистен-силиманита добавок полиэтиленгликоля и алюмината натрия, которые улучшают прочностные свойства краски со связующим лигносульфонатом. Такие краски применяются на УПП «Универсал-Лит» (г. Солигорск), МТЗ и других заводах. Второе направление состоит в использовании алюмината натрия в качестве связующего для красок на основе графита, которыми покрывается рабочая поверхность кокилей при получении отливок из чугуна (завод «Эмальпосуда», г.Слуцк, Лидский литейно-механический завод).

Качество краски определяется не только ее прочностью, но и хорошей адгезией к поверхности форм и высокой противопригарностью, т.е. способностью не сплавляться и не спекаться с поверхностью отливки. Для проверки этих свойств на поверхность стержневой формы (песок и жидкое стекло) наносили краску, применяемую на Солигорском УПП «Универсал-Лит» и эту же краску, но с добавкой 1 % ПЭГ и 2 % алюмината натрия. После сушки, методом царапания оценивали прочность сцепления краски с поверхностью формы. Субъективная оценка прочности сцепления краски с формой выявила лучшую сцепляемость краски с добавкой ПЭГ и алюмината натрия.

Анализ поверхности отливок, полученных в этих формах, показал, что отливка из формы с модифицированной краской отличается более чистой поверхностью.

Второе направление использования алюмината натрия заключается в замене им жидкого стекла в составе кокильных красок. За основу взята краска, используемая на Слущком заводе «Эмальпосуда». На этом заводе на кокиль наносят два слоя краски. Нижний слой, прилегающий к рабочей поверхности кокиля, состоит из белой сажи и алюмохромфасфата в качестве связующего. Верхний слой, контактирующий с жидким чугуном, наносится на нижний и состоит из графита и жидкого стекла.

Для оценки прочности сцепления красок, содержащих алюминат натрия, с поверхностью кокилей, на нагретую до температуры 240 – 260 °С стальную пластину наносили краски различного состава (в процентах по массе): №1 – 12% графита; 10% Al_2O_3 ; 5% $NaAlO_2$; вода остальное; №2 – 12% графита; 5% $NaAlO_2$; вода остальное; №3 – 12% графита; 10% дистен-силиманита; 5% $NaAlO_2$; вода остальное.

Субъективно методом царапания острым предметом оценивали прочность самого покрытия и его сцепления с пластиной. Наилучшую внутреннюю прочность наблюдали в краске № 1, но краска № 2 имела большую толщину покрытия. Для краски № 3 она была минимальной.

На следующем этапе, на кокиле для ступенчатой пробы на отбел, оценивали возможность замены верхнего слоя покрытия на краску с алюминатом натрия и обоих слоев на эту краску. С этой целью кокиль разделили на две части с линией раздела по продольной оси и справа наносили слой краски того же состава, что и на заводе «Эмальпосуда» (белая сажа + алюмохромфосфат), а затем слой красок на основе графита со связующим алюминатом натрия. Слева от оси наносили два слоя краски, состоящей из графита и $NaAlO_2$. Заливка кокиля чугуном позволила оценить влияние состава краски на чистоту поверхности отливки. Разницы между левой и правой частью отливки замечено не было. Не наблюдали различия и по величине отбела в разных частях пробы.

Для оценки теплоизолирующей способности краски в кокиль отливали клиновую пробу на отбел. Слой краски, контактирующий с расплавом выполняли из графита с жидким стеклом и графита с $NaAlO_2$. После заливки формы серым чугуном различия по чистоте поверхности отливок не наблюдалось, а глубина отбела в изломах была практически одинаковой. Выполнение обоих слоев покрытия из графита, $NaAlO_2$, 1% глины и воды обеспечило получение минимального отбела.

УДК 621.74

О.С.Комаров, Б.М. Немененок, Т.Д. Комарова, Е.В.Розенберг
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ КРАСКИ С АЛЮМИНАТОМНАТРИЯ

Целью проведенных исследований по совершенствованию состава литейных противопригарных красок являлся поиск вторичных ресурсов (отходов), добавка которых в состав существующих красок повысит их качество, или использование которых в качестве самостоятельных связующих позволит создать новые противопригарные покрытия.

Анализ существующих на предприятиях РБ отходов показал, что потенциальным связующим может быть алюминат натрия (NaAlO_2). Он образуется при полировке алюминиевых отражателей в расплаве NaOH .

На первом этапе работы исследовали влияние добавок этих отходов в состав базовой краски Солигорского завода УПП «Универсал-Лит», связующим в которой является лигносульфанат. В состав краски вводили раствор NaAlO_2 в количестве 1-4%. Алюминат натрия добавляли в краску в виде 50% водного раствора.

Критерием оценки влияния добавок на свойства краски служила её твердость после сушки при 130°C и прокалики при температурах 400, 900 и 1200°C . Твердость измеряли путем вдавливания конуса из твердосплавного материала в слой исследуемой краски. Как следует из полученных результатов, алюминат натрия повышал твердость краски после сушки и прокалики с ростом величины добавки. Такой характер его влияния объясняется тем, что после деструкции лигносульфаната (400°C) он берет на себя функции связующего.

Проверку достоверности упрочнения краски на основе дистен-силиманита и лигносульфаната проводили на краске литейного цеха ОАО МТЗ. Как и в предыдущем случае добавки NaAlO_2 существенно повысили твердость краски во всем диапазоне исследованных температур. Следует отметить, что добавка NaAlO_2 обеспечивает стабильный рост твердости по мере повышения температуры.

На втором этапе исследовали возможность использования алюмината натрия в качестве самостоятельного связующего. В качестве огнеупорного наполнителя использовали дистен-силлиманит, порошок Al_2O_3 и ZrSiO_4 .

Изменение твердости после сушки и прокалики при различных температурах и разных соотношениях связующих компонентов для случая применения в качестве огнеупорного наполнителя ZrSiO_4 , следует, что краска на этом наполнителе изначально обладает более высокой твердостью по сравнению с дистен-силлиманитом. Наилучшие результаты, независимо от температуры прокалики, получены в случае использования в качестве связующего NaAlO_2 .

С целью выяснения причины отсутствия прочности у краски на основе глинозёма (Al_2O_3) после прокалики при температуре 1300°C исследовали структуру красок на основе Al_2O_3 ; ZrSiO_4 и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. В отличие от красок на основе ZrSiO_4 и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, структура краски на основе глинозёма состоит из отдельных конгломератов, образовавшихся в процессе осаждения $\text{Al}(\text{OH})_3$ из пересыщенного раствора алюмината натрия, что хорошо заметно при небольшом увеличении. При большом увеличении выявляется однородная структура конгломерата, состоящая из пластинок одинаковых размеров. Выдержка при температуре 1300°C не привела к образованию мостиков, соединяющих отдельные пластины. В то же время выдержка красок на основе ZrSiO_4 и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ привела к образованию мостиков между отдельными зёрнами. Сама зерновая структура в обоих случаях характеризуется неоднородностью размеров отдельных частиц. Остается невыясненной причина отсутствия проникновения крепителя в конгломераты Al_2O_3 , в результате чего исключается связь между частицами при низких температурах и спекание частиц при высоких.

Таким образом, установлено, что небольшие добавки алюмината натрия во всем диапазоне исследованных температур способствуют росту твердости, а, следовательно, и прочности противопожарных красок на базе дистен-силлиманита и лигносульфаната. Показано, что NaAlO_2 может выступать в качестве самостоятельного связующего для дистен-силлиманита и циркона (ZrSiO_4).

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ

В останній час як в Україні так і в усьому світі спостерігається постійне зростання дефіциту металовмісної сировини. Особливо гостро проблема нестачі металу відчувається в ливарному виробництві. Оскільки процеси отримання металів є енергоємними, дослідження спрямовані на підвищення енергоефективності цих процесів є актуальними.

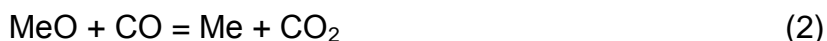
Процес відновлення металів схематично можна представити реакцією:



де MeO – оксид металу; B – відновлювач; Me – метал; BO – оксид відновлювача.

В якості відновлювачів можуть використовуватись метали (металотермія), вуглець (пряме відновлення), газу CO, H₂ (непряме відновлення).

Оскільки основними продуктами газогенераторного процесу є CO і H₂, генераторний газ доцільно використовувати для відновлення оксидів металів:



Згідно з правилом фаз Гібса число термодинамічних ступенів свободи процесу $c = k + n - f = 3 + 2 - 3 = 2$. Оскільки процеси відновлення здійснюються переважно при сталому тиску то у попередньому виразі $n = 1$ і $c = 1$. Це означає, що для визначення системи необхідно вказати лише один параметр – температуру. Тоді константа рівноваги буде функцією температури: $K_p = f(T)$.

Оскільки $K_p = p_{\text{CO}_2} / p_{\text{CO}}$, а $p_{\text{CO}} = f(p_{\text{CO}_2})$, то можна розрахувавши K_p для різних температур, визначити хімічний склад газової фази для цих температур.

Для прикладу розглянемо процес відновлення оксиду заліза за реакцією:



Константу рівноваги можна виразити також через концентрації реагентів в газовій фазі $K_p = \% \text{CO}_2 / \% \text{CO}$. Оскільки $\% \text{CO} + \% \text{CO}_2 = 100\%$, то $K_p = (1 - p_{\text{CO}}) / p_{\text{CO}} = (100\% - \% \text{CO}) / \% \text{CO}$, звідки $\% \text{CO} = 100 / (K_p + 1)$.

Розрахунки термодинамічних характеристик хімічної реакції (3) виконуємо в інтервалі температур 298...1698 K за допомогою розробленої на кафедрі ли-

варного виробництва КНТУ комп'ютерної програми Reagent [1, 2]. Результати розрахунку представлено в табл. 1 і на рис.1.

Таблиця1 – Результати розрахунку термодинамічних характеристик хімічної реакції $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$

T, K	$\Delta H,$ кДж/моль	$\Delta S,$ Дж/моль К	$\Delta G,$ кДж/моль	$\ln K_p$	K_p	%CO	%CO ₂
298,00	-13,95	-13,20	-10,70	4,64	103,54	0,96	99,04
396,00	-14,85	-15,67	-8,65	2,63	13,83	6,74	93,26
494,00	-15,41	-16,94	-7,42	1,72	5,56	15,25	84,75
543,00	-15,60	-17,30	-6,20	1,37	3,95	20,20	79,80
641,00	-15,81	-17,66	-4,49	0,84	2,32	30,11	69,89
739,00	-15,83	-17,69	-2,75	0,45	1,57	38,98	61,02
837,00	-15,68	-17,51	-1,26	0,15	1,16	46,33	53,67
935,00	-15,37	-17,16	0,67	-0,09	0,92	52,17	47,83
1033,00	-14,91	-16,69	2,33	-0,27	0,76	56,76	43,24
1131,00	-12,87	-14,73	3,79	-0,40	0,67	59,94	40,06
1226,00	-12,14	-14,10	5,15	-0,51	0,60	62,39	37,61
1318,00	-12,74	-14,58	6,47	-0,59	0,55	64,36	35,64
1410,00	-13,36	-15,32	7,84	-0,67	0,51	66,11	33,89
1502,00	-14,00	-15,47	9,24	-0,74	0,48	67,70	32,30
1594,00	-14,65	-15,89	10,68	-0,81	0,45	69,13	30,87
1641,00	-14,99	-16,10	11,43	-0,84	0,43	69,80	30,20
1674,00	-46,26	-35,16	12,59	-0,91	0,40	71,20	28,80

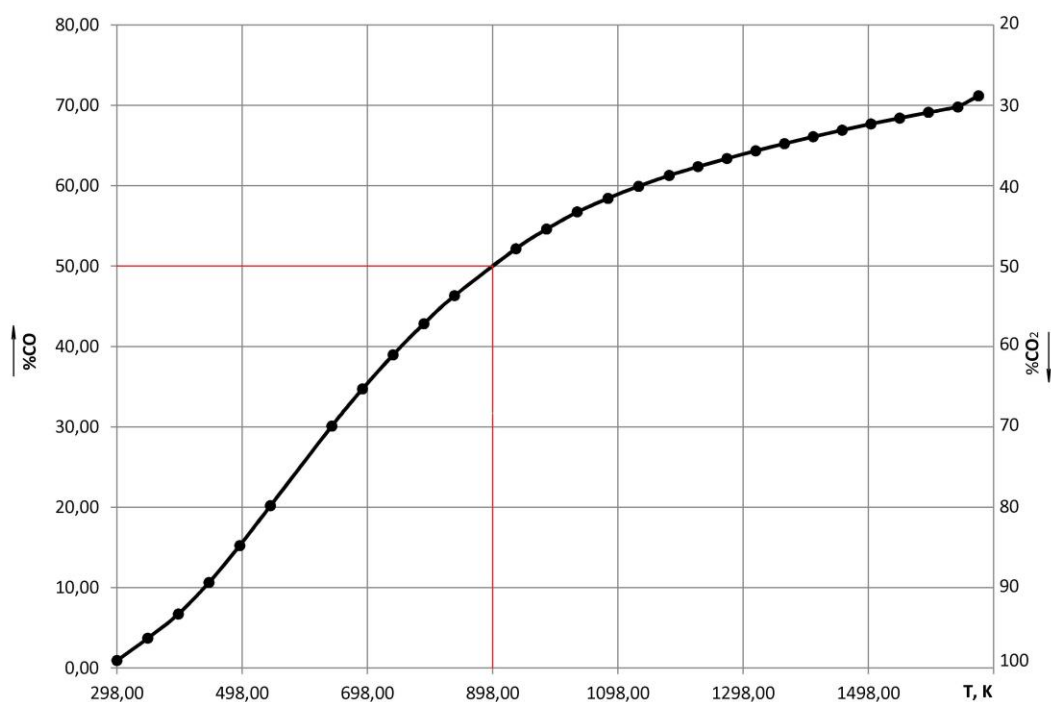


Рисунок 1 – Графік залежності рівноважного хімічного складу газової фази реакції $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$ від температури

З результатів розрахунку (див. табл.1) видно, що ентальпія ΔH від'ємна на всьому температурному інтервалі. Це означає, що реакція екзотермічна, протікає з виділенням теплоти. Виходячи з першого слідства з принципу Потилицина–Ле-Шалельє–Брауна (ПЛБ) підвищення температури буде гальмувати протікання даної реакції зміщуючи рівновагу вліво. З графіку залежності (див. рис.1) видно, що в інтервалі температур 298...898 K в газовій фазі переважає CO_2 – реакція протікає вправо, в бажаному напрямку; при температурі 898 K – рівновага; при температурі вище 898 K в газовій фазі переважає CO – реакція протікає вліво в зворотному напрямку. Отже, для протікання реакції відновлення оксиду заліза в бажаному напрямку необхідно здійснювати процес в інтервалі температур 298...898 K.

Згідно з другим слідством з принципу ПЛБ зміна тиску на зміщення рівноваги даної реакції практично не впливає, оскільки кількість газоподібних молекул не змінюється.

Виходячи з третього слідства з принципу ПЛБ зміщенню рівноваги в бажаному напрямку буде сприяти підвищення активної концентрації початкових речовин. Це можливо досягти збільшенням площі реакційної поверхні шляхом подрібнення оксиду заліза.

Аналіз результатів термодинамічних розрахунків підтвердив доцільність використання генераторного газу для відновлення оксидів. Розроблена комп'ютерна програма дозволяє розраховувати термодинамічні характеристики металургійних реакцій при різних температурах та розробляти рекомендації по інтенсифікації відновлювальних процесів.

Список літератури

1. Конончук С.В. Термодинамічні характеристики безкисневого газогенераторного процесу / С.В. Конончук, В.В. Пукалов // Материали XI Международной научно-практической конференции «Литье-2015». – Запорожье: ЗТПП, 2015. – С.135–138.

2. Програма розрахунку термодинамічних характеристик реакцій газогенераторного процесу / С.В. Конончук, В.І. Кравченко, В.В. Клименко та ін. // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві. – Кіровоград: КНТУ, 2015.–С. 47 – 49.

УДК 621.746.6:542.65

С.Є. Кондратюк, О.М. Стоянова, Ж.В. Пархомчук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОНЕНТІВ ШИХТИ З ПІДГОТОВЛЕНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ СТАЛЕЙ

Кристалізація і структуроутворення є найбільш доступними і ефективними процесами керування литою структурою і закладення потрібних спадкових елементів в сталях як компонентах шихти так і в якості модифікуючих добавок з підготовленою структурою. Закладені в литих сталях на стадіях кристалізації і твердофазних перетворень металогенетичні особливості зберігаються при наступних технологічних операціях переплаву і модифікування. У зв'язку з цим досліджено закономірності впливу вихідної литої структури сталей 25Л, 25ХГСТФЛ, 45Л, 45ХГСТФЛ, Р6М5Л, одержаних за умов нормального ($V_{ох} = 5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$) і швидкісного ($V_{ох} = 350^\circ\text{C}/\text{с}$)

тепловідбору при кристалізації, гарячої деформації і зміцнювальної термічної обробки на формування литої структури при використанні їх як модифікаторів сталей аналогічного хімічного складу.

Встановлено, що одержана при такому модифікуванні структура сталей характеризується суттєвим подрібненням зерна у 2-2,5 рази, підвищенням характеристик дендритної будови – щільністю і дисперсністю відповідно на 15-40 % і 20-35 % залежно від хімічного складу сталей. За умов спадкового модифікування дисперсно-структурованими добавками сталей закономірно підвищуються характеристика міцності на 20-40 % при одночасному підвищенні показників пластичності і ударної в'язкості у 1,5-2 рази.

Показано, що закладені при швидкісній кристалізації, гарячій деформації і зміцнюючій термічній обробці фазово-структурні особливості сталей зумовлюють збереження в розплаві структур ближнього порядку, що забезпечує реалізацію механізму спадкового модифікування.

А. В. Косинская, В. А. Середенко, Е. В. Середенко, Ж. Д. Богатырёва

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ Al МОДИФИЦИРОВАННОГО Ti и Zr, ЗАЛИТОГО В КОКИЛЬ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Среди современных способов воздействия на кристаллизующиеся алюминиевые сплавы с целью изменения дисперсности фаз применяются методы модифицирования. Требуемое структурное состояние может достигаться за счёт введённых в сплав специальных добавок или применения различного рода физических способов модифицирования. В группу наиболее распространенных легирующих переходных металлов являющихся модификаторами структуры алюминиевых сплавов, входят Ti и Zr. Имеются сведения о том, что совместное введение Ti и Zr оказывает положительное влияние на прочностные и пластические свойства алюминиевых сплавов. Одним из способов физического модифицирования является действие слабых постоянных магнитных полей, что экологически безопасно и не требует дополнительных энергозатрат и электрооборудования при работе с постоянным магнитом. Установлено, что постоянное магнитное поле действует на жидкие бинарные сплавы Al - Ti и Al - Zr при заливке благодаря перераспределению энергии в потоке расплава и вихревых образованиях, чем усиливает действие модифицирующих добавок Ti и Zr.

Целью данной работы было исследование совместного влияния малых добавок Ti и Zr, а так же слабого магнитного поля на структурообразование алюминия при его заливке и охлаждении в кокиле. При проведении экспериментов использовали постоянный магнит с горизонтально направленным магнитным полем с индукцией (B) 0,25 Тл. Шихтовыми материалами для получения сплава служили алюминий технической чистоты (А6) и соответствующие двойные лигатуры. Отливки из исследуемых сплавов имели массу 0,11 – 0,13 кг. Выплавку осуществляли в печи электросопротивления в графитовых тиглях. После расплавления, стабилизации температуры, выдержки при 860⁰С расплавы из одного ковша заливали в две графитовые формы идентичной модификации и размеров при их температуре 18-22⁰С. Одну из форм перед заливкой

устанавливали в зазор постоянного магнита. Другая форма заливалась без на-

ложения поля. Отливки имели диаметр 25 мм, высоту - 50 мм.

В таблице представлены характеристики полученных образцов сплавов с до-, перитектическим и заперитектическим содержанием Ti и Zr.

Характеристика сплавов Al - Ti – Zr

Состав сплава по содержанию Ti и Zr, % мас.					
Тип сплава	доперитектический	близкий к перитектическому	заперитектический Ti		
			доперитектический Zr	заперитектический Zr	
Содержание элементов					
Ti	0,069 – 0,076	0,150 – 0,180	0,290-0,340	0,380-0,400	
Zr	0,050 – 0,069	0,008 – 0,110	0,046-0,047	0,160-0,170	
Размер зерна α-твёрдого раствора Al, мкм					
Тл		10 - 12	2 - 5	20 - 70	10 - 20
	,25	5 - 7	2 - 5	10 - 20	5 - 20
Микротвёрдость α-твёрдого раствора Al, кг/мм ²					
Тл		14,0	15,5	16,1	16,9
	,25	15,7	17,3	18,4	18,6

Как следует из таблицы, минимальный размер зёрен α-твёрдого раствора Al достигался при близком к перитектическому содержанию Ti и Zr. Повышение его концентрации до заперитектической вызвало резкий рост зерна. Добавка Zr в количестве ~ 0,2 % мас. уменьшила этот рост. Магнитное поле усилило измельчение зерна в сплавах с до- и заперитектическим содержанием Ti и Zr.

С увеличением суммарного количества добавок росла микротвёрдость α-твёрдого раствора Al, повышающаяся в магнитном поле. Поле действовало на данную характеристику аналогично повышению суммарного количества добавок на 0,1-0,2 % мас. Установлено, что в сплавах, с наименьшим количеством Ti

образовались интерметаллиды минимальной длины – 1 – 5 мкм. В остальных исследованных сплавах такие включения были значительно длиннее – 5 – 20 мкм. Без воздействия поля структура показывала общую ориентировку интерметаллидов по направлению теплоотода. Интерметаллиды образовывали скопления и не формировали чётко ориентированных строчек. При максимальном содержании Ti и минимальном Zr в структуре дополнительно возникли тонковолокнистые включения интерметаллидов. Параллельные строчки интерметаллидов образовывались у сплавов с составами близкими к перитектическому. Под воздействием поля указанные включения были сориентированы в одном направлении, не совпадавшем с теплоотводом.

Таким образом, магнитное поле усилило действие модификаторов, особенно при минимальных их содержаниях и повлияло на макроструктуру.

УДК 621.785.53

К.О. Костик, В.О. Костик

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

АЗОТУВАННЯ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ У ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У зв'язку з прискореним розвитком техніки вкрай актуальними стали питання підвищення надійності і довговічності деталей машин, приладів, підвищення їхньої якості й ефективності роботи, а також, питання економії металів, боротьби з корозією і зносом деталей машин. Рішення цих проблем, насамперед, зв'язано зі зміцненням поверхневих шарів виробів. Роль їх у довговічності машин і механізмів, приладів та ін. особливо зросла в даний час, тому що розвиток більшості галузей промисловості (авіаційна, ракетна, теплоенергетика, атомна енергетика, радіоелектроніка) зв'язано з підвищенням навантажень, температур, агресивності середовищ, у яких працює деталь.

Змінити властивості поверхні в необхідному напрямку можна різними способами. Відомо чимало способів ХТО, таких як насичення в порошковому середовищі, в рідині, газовий спосіб та насичення в вакуумі. Унікальний комплекс властивостей сталевих виробів досягається азотуванням, що полягає в насиченні поверхневого шару сталі азотом при нагріванні у відповідному середовищі від 500 до 650 °С. У результаті азотування сталь здобуває: високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріванні до 400–

450 °С; низьку схильність до задирів і високий опір зносу; високу границю витривалості і кавітаційну стійкість; високий опір корозії в атмосфері, прісній воді і парі.

В наш час, проводяться подальші дослідження даного процесу ХТО, який дозволяє отримувати високу якість поверхні та широке застосування у масовому виробництві.

При дослідженні легованої сталі після газового азотування експериментально встановлено, що з поверхні формується дифузійний шар із послідовно розташованими фазами: $\epsilon \rightarrow (\epsilon+\gamma') \rightarrow \gamma' \rightarrow (\alpha+\gamma'_{\text{надл}}) \rightarrow \alpha$.

Виявлено, що шляхом насичення поверхні сталевих виробів атомарним азотом можливо отримати дифузійний шар товщиною 0,55 мм з поверхневою твердістю 648 МПа.

Оптимальним режимом зміцнення поверхневого шару легованої сталі при азотуванні в шахтній печі СШАМ при ступені дисоціації аміаку 25–35 % вважаємо режим при температурі в два ступеня 510–530 °С з загальною тривалістю 48 годин.

Результати досліджень можуть бути використані на виробництві та у науково-дослідних роботах.

УДК 621.785.53

К.О. Костик, В.О. Костик

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

АЗОТУВАННЯ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ У ПЛАЗМІ ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ

Азотування як метод зміцнення деталей машин і інструмента пройшло тривалий шлях розвитку й удосконалювання. В даний час з точки зору забезпечення функціональних властивостей численних деталей і інструмента воно є одним з ефективних і розповсюджених методів зміцнення в різних галузях машинобудування (автомобілебудування, авіабудування, двигунобудування, верстатобудування).

При азотуванні підвищуються твердість, міцність, зносостійкість, задиростійкість, опірність схоплюванню, корозійна стійкість, опір утомлюванню і теплостійкість. Це досягається низькотемпературним насиченням поверхні деталей азотом.

Промисловий технологічний процес азотування цілком сформувався: як насичену атмосферу застосовується аміак, деталі виготовляються зі складно регульованих

спеціальних сталей, визначені основні параметри процесу (температура насичення, тривалість обробки, ступінь дисоціації аміаку).

Недоліки цього методу: велика тривалість процесу насичення (до 100 г); необхідність застосування спеціальних дорогих сталей, що до того ж нетехнологічні на різних етапах виготовлення деталей; низька в порівнянні з деталями контактна міцність; крихкість поверхневого шару і знижена в'язкість азотованих деталей; нестабільність результатів азотування при його реалізації в промисловості.

Серед переваг процесу азотування необхідно відзначити: високу твердість (до 1100–1300 HV), що досягається без гартування; незначну в порівнянні з іншими методами зміцнення деформацію деталі; теплостійкість поверхневого шару до 500–600 °С; високу зносостійкість; корозійну стійкість (особливо в повітряній атмосфері); високий опір стомлюванню.

Іонно-плазмове азотування (ІПА) – це різновид ХТО деталей машин, інструменту, штампової та ливарної оснастки, яка забезпечує дифузійне насичення поверхневого шару сталі азотом в азотно-водородній плазмі при температурах 400–600 °С. Використання ІПА замість газового азотування дозволить зекономити основне обладнання, знизити верстатні й транспортні витрати, зменшити витрати електроенергії та активних газових середовищ.

Встановлено, що іонно-плазмове азотування легованої сталі при температурі 525 °С за 5 годин дає можливість отримати зміцнення поверхневого шару до 11,0 ГПа на глибину 0,35 мм з балом мікрокрихкості від 0 до 1,5 балів.

УДК 669.715 + 541.124

М.В. Кошелєв, А. Г. Пригунова

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДОМ СВС

В работе исследованы фазовые и структурные превращения доэвтектического силумина при термической обработке по специально разработанным режимам, предусматривающих экстремальный характер изменения температуры – режим самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), сформированного по принципу «химической печки» [1,2]. В таком режиме теп-

ловая энергия от высококалорийной смеси внешнего (вспомогательного) слоя (рис.1) используется для реализации высоких скоростей нагрева ($\sim 10^6$ K/c) внутреннего химически инертного слоя (образца) до температур плавления и выше. Перевод металла в расплавленное состояние, значительный перегрев расплава и его охлаждение с высокой скоростью создают условия для получения метастабильных структур, пересыщенных растворов и новых соединений непосредственно за время прохождения волны горения. Скорость кристаллизации расплава (образца) после прохождения волны экзотермической химической реакции $10^2 - 10^5$ K/c. близка к скоростям высокоскоростной закалки.

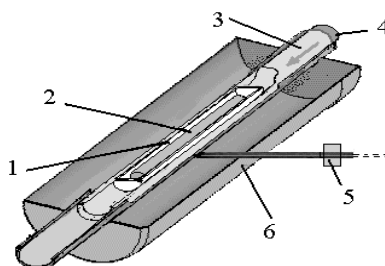


Рис. 1. Принципиальная схема установки для термической обработки в режиме СВС: 1 – кварцевая лодочка; 2 – образец; 3 – реакционная смесь; 4 – запал; 5 – термопара; 6 – защитный кожух

Объектом исследования выбран доэвтектический сплав Al5Si (промышленные сварочные электроды из сплава ER 4043). Данные микроструктурных исследований приведены на рис.2. Они свидетельствуют о значительном модифицирующем эффекте СВС-обработки. Фазовый анализ полученных слитков, проведенный на дифрактометре «ДРОН-3М» в CuK_α излучении, показал, что в процессе СВС-обработки новые фазы по сравнению с равновесной диаграммой состояния не образуются. На ДТА-кривых (см.рис.2), полученных на «Дериватографе Q-1500 D» (МОМ Венгрия) со скоростью охлаждения $5^\circ\text{C}/\text{мин}$, присутствуют два последовательных экзотермических пика кристаллизации $\alpha\text{-Al}$ и эвтектики.

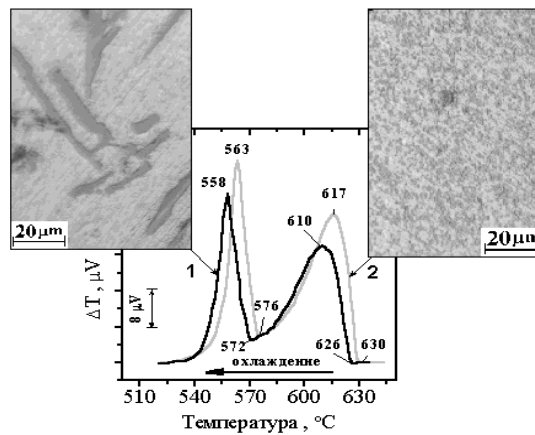


Рис.2. Микроструктура и кривые ДТА кристаллизации образцов исходного (1) и подвергнутого экстремальной температурной обработке (2) сплава Al5Si

Кристаллизация образцов, обработанных в СВС режиме, сопровождается ростом интенсивности экзотермических пиков и расширением температурного диапазона кристаллизации с заметным смещением начала процесса в область более высоких температур.

Учитывая простоту реализации, отсутствие энергозатрат и высокую производительность метода СВС, а также возможность эффективного измельчения структуры и повышения прочностных характеристик силуминов, можно считать, что такой способ термической обработки имеет большой потенциал для практического использования.

Список литературы

1. Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса / Под ред. А.Г. Мержанова. – Черноголовка: Территория, 2003. – 368 с.
2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика / Под ред. А.Е. Сычева. – Черноголовка: Территория, 2001. – 432 с.

УДК 681.3/621.74

В. П. Кравченко¹, Е. В. Кравченко²

¹ Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

² МНУЦИТС МОН и НАН Украины

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Классическая концепция планирования статистических экспериментов широко используется при решении многих прикладных задач. Однако, усложнение моделей, возникающих при исследовании процессов теплообмена при охлаждении отливки и их многообразие, приводит к необходимости исследовать задачи, выходящие, во многих случаях, за рамки классических подходов. Важным этапом процесса создания новых технологий производства металлических деталей, в частности, при регулировании охлаждения отливок в форме, являются экспериментальные исследования. Поэтому очевидно, что возникает необходимость в разработке математического обеспечения планируемого эксперимента. К тому же необходимо обеспечить экспериментатора достаточно широким набором планов эксперимента [1]. Основная цель исследования должна заключаться в том, чтобы можно было оценить наиболее полно все разнообразие возможностей и тем самым способствовать выбору наилучшего плана действий по организации эксперимента. Такой подход предусматривает возможность проведения анализа чувствительности, если необходимо изучить чувствительность результатов эксперимента к принятым допущениям. Кроме того, планы эксперимента должны удовлетворять некоторому выбранному критерию оптимума. Кроме того, нужно рассмотреть возможность автоматизировать обработку результатов эксперимента и выдать рекомендации по оптимизации самого процесса проведения эксперимента. Рассмотрим структуру специализированного математического обеспечения планируемого эксперимента. Очевидно, что цель и задача конкретного экспериментального исследования процесса охлаждения должны быть отображены в постановке самой задачи при определении необходимых параметров отливки. В структуру специализированного математического обеспечения эксперимента должна входить программа обработки результатов эксперимента, которая даст возможность оценить эффективность влияния разнообразных факторов, определить наличие или отсутствие корреляционных связей и найти условия, при которых изучаемый процесс удовлетворяет критерию оптимума по различным параметрам. Вид математической модели, как обычно, можно определить уравнением регрессии [2],

$$E(T / \bar{r}) = F(\bar{r}, \bar{p}),$$

где $E(T/\bar{r})$, как обычно, уравнение, в которое входит среднее значение результатов измерения исходного параметра T (в данном случае температуры) в точке, которая определяется вектором r (r - вектор входных параметров), \bar{p} - вектор коэффициентов, которые нужно определить, $F(\bar{r}, \bar{p})$ - функция, которая может быть как линейной, так и, в общем случае, нелинейной. При определении коэффициентов уравнения регрессии наиболее широко используется метод наименьших квадратов. Достоверность полученных значений этих коэффициентов можно проверять с помощью критерия Стьюдента. Проверку истинности гипотезы об адекватности математической модели и данных эксперимента, возможно, провести с помощью критерия Фишера. При проведении сложных натурных экспериментов исследования регулируемого охлаждения конкретных отливок нужно стремиться к уменьшению общего числа экспериментов и к получению как можно большей информации от каждого отдельного эксперимента. В связи с этим, нужно создавать и широко использовать информационные измерительные системы. Такие системы позволяют одновременно измерять различные параметры процесса и получать результаты измерений в различных формах. Таким образом, создание системы планируемого эксперимента, позволит автоматизировать проведение экспериментальных исследований в изучении теплофизического процесса охлаждения отливок, улучшить качество исследований и снизить материальные затраты за счет уменьшения срока исследования и получения технологических деталей нужного качества. Это будет способствовать созданию новых качественных образцов промышленных деталей.

Список литературы

1. *Бережной Ю.И., Деревянко Л.П.* Автоматизация экспериментальных исследований при разработке горных машин. // Некоторые задачи прикладной динамики и устойчивости движения К., 1976 .-с. 130-133.
2. *Виноградский М.С., Лурье М.В.* Планирование эксперимента в технологических исследования .- К.: Техника, 1975 .- 168 с.

С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук, Н.И. Левицкий, Е. А. Дрозд

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел./факс.: 0444242350, e-mail: e_luch@kiev.ptima.ua

ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ГАРНИСАЖНОЙ ПЛАВКИ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

Последние годы характеризуются переходом к выплавке многокомпонентных титановых сплавов с содержанием 10 и более компонентов и в меньшей степени циркониевых сплавов, содержащих до 6-7 компонентов. Выплавка таких сплавов методом электронно-лучевой гарнисажной плавки (ЭЛГП) требует усовершенствования технологического процесса на всех его основных этапах, т.е. подготовки оборудования к плавке, подготовки шихты, обеспечения приемлемого порядка завалки шихтовых материалов в тигель, проведения собственно плавки.

Что касается подготовки оборудования, то на этом этапе в связи со стремлением более широкого использования в качестве шихтовых материалов губки и отходов производства серьезное внимание стало обращать на использование пушек высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) вместо термокатодных. В качестве плавильно-заливочных тиглей предпочтение отдается тиглям со сливным носком, поскольку при сливе расплава через сливное отверстие в днище пока невозможно фиксировать точное время расплавления гарнисажа в отверстии.

Подготовка шихтовых материалов и завалка их в тигель определяются качеством и видом используемых исходных материалов. В зависимости от этого могут применяться варианты завалки в виде как равномерного смешения компонентов, так и их послойного размещения в тигле с отдельным расположением тугоплавких и легкоплавких составляющих. Специфическим технологическим приемом является ввод легкоплавких легирующих элементов (например, алюминия в сплавах титана и олова в сплавах циркония) не в шихту, а непосредственно в расплав в жидком виде путем их расплавления электронным лучом в конце плавки над ванной.

Собственно проведение плавки характеризуется стандартным для ЭЛГП режимом со ступенчатым повышением мощности нагрева. Особенностью этого этапа технологического процесса при выплавке сложнолегируемых сплавов

является возможность проведения термовременной обработки не в самом конце плавки, а перед указанным выше вводом легирующих элементов в расплав в жидком виде.

УДК 621.74.074:743.45

В.А. Лакеев, А.С. Затуловский

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

**ЛИТЫЕ КОМПОЗИТЫ С МАТРИЦЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ,
АРМИРОВАННЫХ ПРОДУКТАМИ РЕЦИКЛИНГА КМ ЛАТУНЬ – СТАЛЬНАЯ
ДРОБЬ**

Разработана технология получения и проведены исследования литого алюмоматричного композиционного материала, где в качестве армирующей фазы использованы дискретные частицы другого композиционного материала, полученные в результате рециклинга изделий. Армирующие частицы являлись продуктом механической обработки (дробления) детали из литого композита на основе бронзы и стальных гранул. Полученный композиционный материал изготавливался методом пропитки слоя дискретных частиц расплавом силумина АК12 под внешним давлением. Температура заливки составляла 730-750°C, давление в расплаве- 70 – 80 кПа, скорость охлаждения- 70 – 80 град/мин. В структуре образцов (рис.1) равномерно расположены частицы различных форм, состоящие из латуни ЛС59 и стали с 0,6 %С окруженные матричным сплавом.

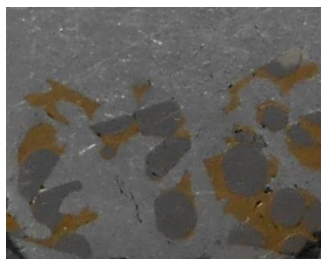


Рис.1 Микроструктура литого алюмоматричного матеріала с частицами композита бронза-стальна дробь.

В матрице (силумин АК12) находятся фрагменты бронзы и стальных гранул. Можно отметить соединение матрицы и армирующих элементов по растворно-диффузионному механизму. Триботехнические испытания показали, что износостойкость произведенных композитов выше, чем у моносплава в 2-3 раза.

На ТОВ «Іллічівський ремонтно-механічний завод» были проведены опытно-промышленные испытания разработанной технологии. Установлено, что использование технологии позволило снизить общее количество трудно перерабатываемых отходов участка механической обработки биметаллических композиционных изделий на 82 %, при степени усвоения металлической составляющей отходов 95%. Эксплуатационная стойкость подшипников скольжения из новых композита превысила стойкость серийных из бронзы Бр.О5Ц5С5 в 1,3-1,4 раза.

УДК 621.744.3

Т.В. Лисенко, В.О. Шинський, К. В. Волянська

Одеський національний політехнічний університет, Одеса

**ПІНОПОЛІСТИРОЛОВІ МОДЕЛІ З ІМПЛАНТАМИ ДЛЯ ЛИВАРНОГО
ВИРОБНИЦТВА**

В даний час у світовій практиці знайшли широке застосування пінополістиролові матеріали в якості технічної та побутової тари, а також тари для харчових продуктів. Після використання пінополістирол не підлягає утилізації, а накопичується у великій кількості в навколишньому середовищі, створюючи екологічну проблему.

Тому проблема переробки відходів пінополістиролу та розробка на їх основі нових зв'язуючих матеріалів для ливарного виробництва є актуальною проблемою..

У літературі можна зустріти досить суперечливі дані з питання про розчинність полістиролу в ацетоні: розчиняється, частково розчиняється, не розчиняється. А так як ацетон є одним з дуже відомих у ливарному виробництві розчинників, то важливо з'ясувати фактичний стан справ у цьому питанні, а так само те розходження, яке повинно мати місце при порівнянні полістиролу з пінополістиролом.

Уже перші експерименти показали, що поведінка пінополістиролу в контакті з ацетоном носить вельми активний характер. При зануренні пінополістиролу в ацетон спостерігається інтенсивне бурління рідини в зв'язку з виділенням газу, укладеного в комірки пінополістиролу. Одночасно відбувається «розчинення», а точніше поглинання пінополістиролом частини ацетону з утворенням набряклого осаду. А так як стінки комірок пінополістиролу є дуже тонкими, то цей процес відбувається досить інтенсивно.

Було проведено дослідження системи "пінополістирол - ацетон", яке дозволило створити технологію отримання пінополістиролових моделей з імплантантами. Йдеться, насамперед, про кінетику набухання пінополістиролу в ацетоні і склад набряклого осаду пінополістиролу.

Нова технологія отримання пінополістиролових моделей з імплантантами виключає необхідність використання спеціального зв'язуючого для фіксації на поверхні підвспенених гранул імплантантів. Замість цього зв'язуючого в змішувальній пристрій вводять суворо дозовану кількість ацетону, який рівномірно розподіляється по поверхні підвспенених гранул полістиролу і активно ними поглинається. При цьому на поверхні цих гранул тонким шаром утворюється клейка маса, яка є зв'язуючою для імплантантів. А так як згідно з даними по кінетиці набухання цей процес відбувається дуже швидко і співвідношення «пінополістирол : ацетон» дорівнює 1:1, то при цьому створюються всі необхідні умови для

якісного зв'язку вводимих компонентів (легуючих, модифікуючих) з поверхнею підвспенених гранул полістиролу [2].

При дослідженні в системі «пінополістирол - ацетон» встановлено, що пінополістирол не розчиняється в ацетоні, однак характеризується обмеженням у ньому набуханням при співвідношенні пінополістирол до ацетону як 1:1 і короткочасним циклом поглинання (15-30 хв.). А це дозволило розробити нову технологію отримання пінополістиролових моделей з імплантатами, що включає необхідність використання спеціального зв'язуючого для фіксації імплантантів на поверхні підвспенених гранул полістиролу.

Литература

1. Тагер А. А. Физико-химия полимеров, М., «Химия», 1978., - 544
2. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. М-Л., «Химия», 1966, - 768 с.
3. Бедрик В. С., Чулков П.В., Калашников С. И., Справочник. Растворители и составы для очистки машин и механизмов. М. «Химия», 1989, - 176
4. Дринберг С. А., Ицко Э. Ф. Растворители для лакокрасочных материалов. Справочное пособие. Л. «Химия», 1986., - 208 с.
5. Рейнольдс В. В. Физическая химия нефтяных растворителей Л.: «Химия» , 1967, - 184 с.

УДК 669.018.28: 532.74

В. А. Локтионов-Ремизовский, И. В. Олексенко, В. Г. Новицкий

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

Тел. 044 4241322, e-mail: loktionov@ptima.kiev.ua

СТРУКТУРА И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТЫХ СПЛАВОВ (СЧ + CuS)

Для повышения жизненного уровня населения и обеспечения его экологической безопасности необходимо непрерывное развитие одного из ведущих научных направлений «новые материалы». К этой категории можно отнести ма-

териалы, обладающие высокими эксплуатационными характеристиками в экстремальных условиях. В этих условиях эксплуатируются материалы для рабочих органов оборудования и узлов трения. В качестве таких материалов можно использовать литые сплавы (ЛС), так как, варьируя химическим составом, режимами термической обработки, введением в металл легирующих и модифицирующих добавок, применяя специальные технологические методы, можно синтезировать материалы, отвечающие комплексу необходимых требований. В качестве исследуемого объекта были выбраны ЛС на основе серого чугуна (СЧ + CuS), легированного медью (4,2%) и серой (0,6-1,2%) с дополнительным легированием алюминием (1,6%), хромом (1,4%) или титаном (1,1%). Все опытные ЛС имеют структуру половинчатого чугуна, состоящую из трооститной матрицы, карбидной сетки, высококомедистой ϵ -фазы и компактных включений сульфидной фазы, которые могут служить твердой смазкой (Рис. 1).

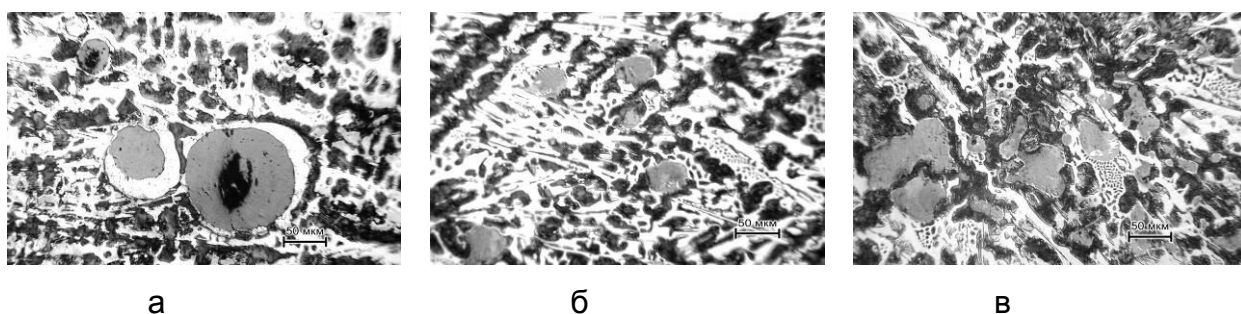


Рис. 1 Микроструктура ЛС (СЧ + CuS) легированных Al (а), Cr (б), Ti (в)

Легирование хромом и титаном уменьшает размеры высококомедистой ϵ -фазы, т.к. не уменьшается количество меди, входящей в состав сульфидов, в то время как алюминий способствует уменьшению количества меди в сульфиде, в результате чего вокруг них выделяются значительные по размерам оторочки высококомедистой ϵ -фазы. При легировании титаном сферическая форма сульфидных включений нарушается, но остается компактной. Твердость для ЛС составляла 42,2 HRC (а), 56,2 (б) и 52 (в).

Испытания ЛС на износ проводили по схеме торцового трения в условиях граничного трения (в среде индустриального масла И-20А). Образцы изготавливали из опытных ЛС, а контртело из стали 5 после закалки. Скорость скольжения составляла 0,02 м/с, а удельная нагрузка - 10, 15 и 20 МПа. Полученные результаты позволили установить следующее:

➤ Интенсивность изнашивания ЛС (СЧ + CuS) и пар трения в целом при дополнительном легировании ЛС Al, Cr и Ti зависит от структурных особенностей этих ЛС и, в первую очередь, химического состава сульфидной фазы и микротвердости фаз, а также наличия или отсутствия в структуре ЛС высокомедистой ϵ -фазы. Все испытанные ЛС обладают достаточно высокой износостойкостью, однако, имеют различное влияние на интенсивность изнашивания контртела и, в связи с этим, пары трения. Это, в первую очередь, определяет износостойкость пар трения при различных удельных нагрузках.

➤ По результатам испытаний ЛС на износ можно рекомендовать применение ЛС (СЧ + CuS) + Al при удельных нагрузках 15 и 20 МПа, а ЛС (СЧ + CuS) + Cr и (СЧ + CuS) + Ti при удельных нагрузках до 10 МПа.

➤ Интенсивность изнашивания ЛС и контртела определяется поверхностной пленкой, сформировавшейся в результате массопереноса на поверхность контртела в процессе трения. Эта пленка – тонкий слой вещества с наноструктурой после процесса приработки поверхностей трения взаимодействует с поверхностью трения ЛС. В зависимости от свойств этого слоя, прежде всего, его пластичности и адгезионной прочности и проявляются его положительные свойства как твердой смазки.

УДК 621.744

Т. В. Лысенко, К. А. Крейцер, В. Ю. Могетыч

Одесский национальный политехнический университет

СЕТОЧНЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ МАГНИЕВОГО СПЛАВА ОТ ВОЗГОРАНИЯ

В настоящее время магниевые сплавы занимают лидирующую позицию среди новых высокоэффективных энергосберегающих технологий. Одним из сдерживающих факторов широкого внедрения является защита от возгорания при плавке магниевых сплавов. В настоящее время находит еще широкое применение, для защиты от возгорания, флюсовая плавка. Флюсы надежно защищают металл, однако, в результате термической диссоциации составляющих флюса и протекающих реакций с кислородом и влагой воздуха, образуются и выделяются в атмосферу цеха хлор, фтор, хлористый и фтористый водород.

Перспективным технологическим процессом, способным устранить большинство выше перечисленных отрицательных факторов, является приготовление магниевых сплавов без флюса в защитной газовой среде.

Новая технология бесфлюсовой плавки магниевых сплавов основана на применении газовой защиты, которая позволяет изолировать сплав от контакта с воздухом лучше, чем флюсовое покрытие. Газовая среда способна выполнять свою защитную функцию в том случае, если она, химически взаимодействует с жидким магниевым сплавом, образует тонкую плотную пленку.

С целью повышения эффективности при защите магниевых сплавов от возгорания рассматривается возможность использования эффекта поверхностного натяжения при бесфлюсовой защите.

В настоящей работе выполнялись исследования по реализации предложения академика Г.П. Борисова о возможности защиты магниевого сплава от возгорания с помощью наложения на поверхность расплава сетки, которая разбивает поверхность расплава на ограниченные участки небольшой площади.

Разбив рабочую поверхность на n-участков ограниченной площади с помощью сетки можно удерживать защитную оксидную пленку на поверхности металла, тем самым препятствуя возгоранию магния.

В работе поставлена и решена следующая задача: для заданной площади поверхности расплава определить основной параметр сетки – размер ячейки, который обеспечит защиту поверхности расплава от возгорания. С целью более полного исследования данного вопроса был выполнен эксперимент.

Работа проводилась на сплаве МЛ5. Варьирование величиной размера ячейки в эксперименте принято от минимального размера 1×1мм через каждые 0,5мм. Сетка квадратного размера 150×150мм, изготовлена из проволоки диаметром 1мм², материал – сталь низкоуглеродистая СТЗ. Для исследования была принята температура для сплава МЛ5 660-820 °С. Для каждого значения размера решетки и температуры фиксировалось состояние защиты от возгорания. Матрица результатов эксперимента представлена в Таблице 1. Знак «+» или «-» в матрице обозначают отсутствие или появление возгорания магния.

Таблица 1

	Pa					
	змер	1,	1,	2,	2,	3,
	решетки	0×1,0	5×1,5	0×2,0	5×2,5	0×3,0
	мм					

Температура, °С						
820		+	+	+	+	-
780		+	+	+	+	-
750		+	+	+	+	+
710		+	+	+	+	+
660		+	+	+	+	+

Полученные результаты позволили провести анализ области использования данного метода.

Предложенный сеточный метод защиты от возгорания может быть эффективно использован совместно с бесфлюсовой защитой с целью резкого снижения расхода защитных газов при литье магниевых сплавов.

Список литературы

1. Чурсин В. М. Технология цветного литья. / - М.: Машиностроение, 2001. - 250 с.
2. Лисенко Т.В. Преимущества производства оливок из магниевых сплавов [Текст] / Т.В. Лисенко, К.О. Крейцер. Міжнародна спеціалізована виставка-конференція, доповідь. – 2010.
3. Мухина И. Ю. Основы бесфлюсовой плавки магниевых сплавов. // - М.: ГНТП, 1992. - 98 с.

УДК 621.744

Т.В. Лысенко, О.И. Шинский, Л.И. Солоненко, К. В. Волянская
Одесский национальный политехнический университет, Одесса

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ХОЛОДИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАМОРОЖИВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

В современном литейном производстве известно более ста различных способов литья. Учеными-литейщиками обстоятельно изучены современные процессы формообразования, разработаны рекомендации по рациональной

реализации технологических процессов. Однако, улучшение экологии производства и уменьшение стоимости процесса литья является весьма актуальным. Удачное сочетание низкой стоимости формообразования и экологической чистоты производства наблюдается при литье в низкотемпературные формы (НТФ).

В настоящей работе приведено оригинальное решение проблемы по замораживанию литейных форм. Многочисленные литературные источники, а также патентный фонд, посвященные изучаемому вопросу, свидетельствуют о важном значении этой проблемы для металлургической и машиностроительной промышленности. В подавляющем большинстве публикаций, авторских свидетельств и патентов отечественных и зарубежных авторов проблема замораживания литейных форм решается однообразно, то есть с помощью эпизодических источников холода, например, дробленным водным льдом, сухой углекислотой, жидким азотом. Использование перечисленных источников холода приводит к значительным затратам, связанным с наработкой продукта, транспортировкой и сохранением его. Кроме этого, ограниченное количество хладоносителя вынуждает к сокращению и прерыванию намеченных циклов исследований, а иногда и к отказу от дальнейшей работы.

Разработанный комплекс представляет собой альтернативное решение проблемы. Реализация предлагаемой системы обеспечит не только стабильные условия для замораживания литейных форм при полной автономности и независимости от сторонних источников холода, но и позволит обслуживать других потребителей холода на любое продолжительное время.

Низкотемпературный холодильный комплекс (рис.1) включает в себя три основных блока. Первый блок – машинное отделение, где размещены надежные в работе герметичные хладоновые компрессоры, теплообменные аппараты, пусковая и регулирующая аппаратура. Второй блок состоит из камеры замораживания, емкости для сбора промежуточного хладоносителя, воздухоохладителя с электровентилятором и воздуховодами и – циркуляционного насоса для перекачивания промежуточного хладоносителя. Третий блок представляет собой низкотемпературную камеру хранения замороженных литейных форм, где возможно предварительное охлаждение формочной смеси или форм в сборе.

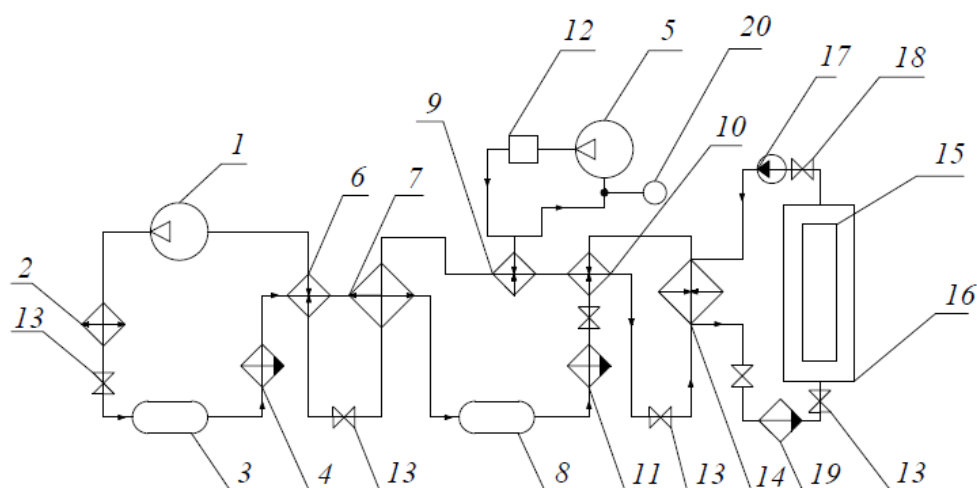


Рис. 1. Схема низкотемпературного холодильного комплекса для замораживания литейных форм

В качестве генератора холода применена каскадная хладоновая установка, работающая на хладонах R 22 и R 13, которая при температуре кипения хладона -70°C обеспечит замораживание формовочной смеси до -40°C . С целью достижения максимальной эффективности при охлаждении система предусматривает два варианта работы установки.

При небольшой толщине слоя формовочной смеси литейная форма будет охлаждаться только охлажденным воздухом, нагнетаемым в камеру вентилятором. Если толщина слоя формовочной смеси увеличена – тогда охлаждение предусмотрено комбинированное: во внутреннюю полость формы подается охлажденный воздух, а наружные поверхности формы омываются охлажденным в испарителе промежуточным хладоносителем.

УДК 621.742

Р.В. Лютый, Д.В. Кеуш

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

**СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ С ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ И
АЛЮМОСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ**

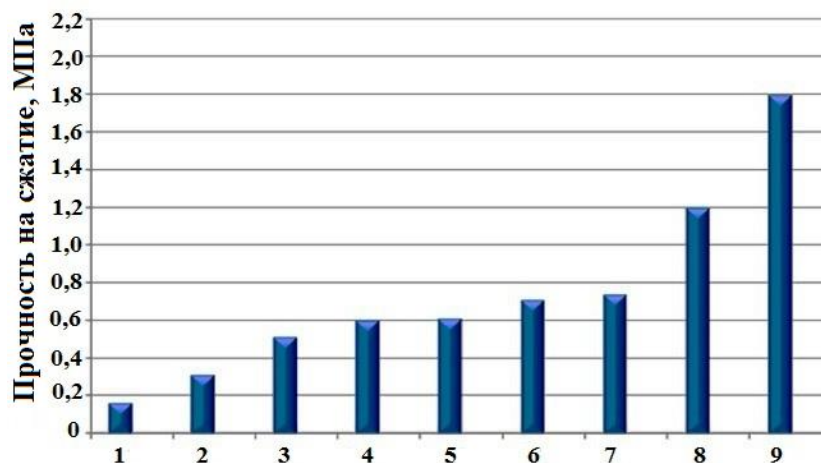
Среди связующих материалов особое место занимают фосфаты, владеющие рядом ценных свойств, благодаря которым они известны также как термостойкие, коррозионностойкие и жаростойкие материалы [1]. Научным и технологическим вопросом являются новые схемы получения связующих фосфатов алюминия в стержневых смесях, исключающие применение дефицитных отвердителей и упрощающие процессы смесеприготовления.

Неорганические соединения алюминия представляют собой обширную группу веществ, большинство из которых нашли широкое применение в литейном производстве, в том числе в составе формовочных и стержневых смесей. Все материалы, выбранные для исследований, разделены на три группы, согласно химико-минералогической природе. К первой группе отнесены огнеупорные алюмосиликатные соединения. Вторая группа объединяет в себе промышленные продукты. В работе использованы побочные продукты получения первичного алюминия (шлам), выплавки алюминиевых сплавов (шлак) и порошковый алюминий (пудра). В третью группу входят неорганические соли алюминия. Наиболее доступными из них являются сульфат и нитрат этого металла.

Проведен качественный анализ способности выбранных материалов образовывать связующие продукты с H_3PO_4 . В состав каждой смеси входило по 3% H_3PO_4 , 2,5% воды и 5% алюмосодержащего вещества. Огнеупорным наполнителем был речной кварцевый песок марки $3K_5O_3025$. Использована концентрированная (85%) ортофосфорная кислота.

Образцы смесей выдерживали в течение 1 ч при температуре 250 °С в лабораторной камерной электропечи модели СНОЛ-1,6.2,5/11-И2. Все вещества проявили активность к H_3PO_4 , но в разной степени (рис. 1).

В кристаллических решетках алюмосиликатов чередуются кремнезёмистые Si – O и глинозёмистые Al – O слои. Такие материалы способны реагировать с ортофосфорной кислотой, в первую очередь благодаря наличию алюминия [2]. Для реализации упрочнения необходим нагрев. При этом лучше проявили себя минералы, которые имеют более простое кристаллическое строение (пирофиллит и дистен-силлиманит).



1 – глина бентонитовая; 2 – глина каолиновая; 3 – шлак Al; 4 – дистен-силлиманит; 5 – пирофиллит; 6 – пудра Al; 7 – шлам Al; 8 – нитрат Al; 9 – сульфат Al

Рис. 1 – Прочность смесей с ортофосфорной кислотой и различными алюмосодержащими материалами

Дальнейшие исследования свойств смесей дали возможность достичь более высоких показателей прочности, чем на рис. 1. Смесь с 3...4% H_3PO_4 и 5...6% пылевидного пирофиллита после отверждения при 300 °C имеет прочность на сжатие 1,4...1,6 МПа. Смесь с 3,0...3,5% H_3PO_4 и 1,0...1,5% пылевидного дистен-силлиманита с прочностью 2,8...3,2 МПа стала объектом патентования [3].

Алюминиевый шлам, шлак и пудра по-разному взаимодействуют с H_3PO_4 . Шлак состоит в основном из оксида алюминия, который наименее активен в отношении кислоты, потому получить связующее не представилось возможным.

Шлам представляет собой совокупность частиц (от пылевидных до 2,5 мм) следующего химического состава: SiO_2 – 5,6...14,8%; MgO – 2,4%; Fe_2O_3 – 6,7...11,1%; Al_2O_3 – 48,5%; $\Sigma(Na_2O+K_2O)$ – 1,75%; потери при прокатке – 8,32%; частички металлического алюминия – 25,2%. Несмотря на наличие металлических частиц, шлам практически не образует с H_3PO_4 холоднотвердеющей смеси, но способен вступать с ней во взаимодействие при нагреве.

Решающее значение при упрочнении подобных фосфатных систем имеет содержание активных оксидов [1]. Шлам содержит достаточное их количество. Упрочнение смеси объясняется образованием фосфатов таких металлов, как Mg, Fe, возможно также Na и K. Таким образом, образуется сложное связую-

щее, которое представляет собой смесь фосфатов активных элементов, но не Al.

Упрочнение смеси обеспечивает массовое соотношение шлама к кислоте 1:1, при их общем содержании по 5...6%. Смесь упрочняется при 220 °С, при этом достигается прочность на сжатие 2,0...2,4 МПа.

Пудра является мелкодисперсной (исключительно пылевидной) фракцией частиц металлического алюминия. Она интенсивно, со значительным тепловыделением, взаимодействует с кислотой даже при нормальных условиях, что может обеспечить в дальнейшем получение холоднотвердеющей смеси.

Неорганические соли алюминия ранее не были использованы для синтеза алюмофосфатных связующих. Нами проанализированы термодинамические условия химических реакций нитрата и сульфата алюминия с ортофосфорной кислотой. Действительно, обе соли при нормальных условиях не могут с ней взаимодействовать. Однако нагрев композиций способствует снижению изменения свободной энергии, и при температуре около 250 °С реакция нитрата алюминия с H_3PO_4 становится термодинамически возможной.

Рентгенофазовым анализом композиции нитрата алюминия с H_3PO_4 , упрочненной при 250 °С, установлено образование в пробе трехзамещенного фосфата алюминия (берлинита). Таким образом, впервые успешно синтезировано фосфатное связующее из неорганической соли алюминия.

Поскольку нитрат алюминия – растворимая соль, стержневую смесь рационально готовить, смешивая его предварительно с ортофосфорной кислотой. Полученный раствор (10% нитрата алюминия и 90% кислоты с 50%-й концентрацией) в количестве 4...6% обеспечивает после теплового отверждения прочность смеси на сжатие 2,3...2,8 МПа.

Разработанные связующие имеют высокую термостойкость и низкую физико-химическую активность к железоуглеродистым расплавам. Это позволяет использовать их для производства отливок из углеродистой, легированной стали и чугуна, что подтверждено экспериментально. Отливки, полученные с использованием стержней из разработанных смесей, не имеют пригара и других поверхностных дефектов.

Список літератури

1. *Судакас Л.Г.* Фосфатные вяжущие системы. – СПб: РИА «Квинтет», 2008. – 260с.

2. *Копейкин В.А., Клементьева В.С., Красный Б.Л.* Огнеупорные растворы на фосфатных связующих. – М.: Металлургия, 1986. – 102 с.

3. Патент Украины №99789. МПК В22С9/12. Спосіб зміцнення ливарних стрижнів / *Р.В. Лютый, Д.В. Кеуш, Е.А. Анисимова*, опубл. 25.06.2015.

УДК 621

В. Ф. Мазорчук, Р. В. Усенко, И. Ю. Наумова, С. И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТЛИВКИ И ПОЛОГО КЕРАМИЧЕСКОГО СТЕРЖНЯ

Для определения факторов, влияющих на величину напряжений в отливке и стержне (вставке), провели расчёты напряжений в полой цилиндрической отливке и её неподатливом полом стержне бесконечной длины, охлаждённых до комнатной температуры. Схема поперечного сечения такой отливки со стержнем, принятая для расчётов, представлена на рисунке 1.

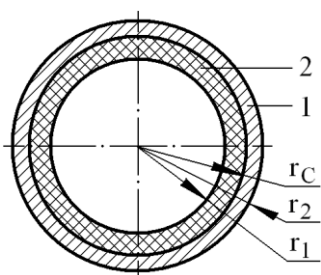


Рисунок 1 – Схема поперечного сечения цилиндрической отливки с полым стержнем:
1 – отливка;
2 – стержень

Из анализа схемы на рисунке 1 следует, что, по сути, в охлаждённом состоянии рассматриваемая система «отливка–стержень» – это составной цилиндр, полученный в результате

горячей посадки отливки на стержень.

Для проведения теоретических исследований приняли, что:

- температура заливаемого в форму расплава и начальная температура формы и стержня – одинаковы;
- в процессе охлаждения отливки от температуры солидус сплава до температуры перехода материала отливки из пластичного в упругое состояние ($t_{пу}$) в теле отливки напряжения не возникают;
- силовое взаимодействие между отливкой и стержнем реализуется в интервале температур от $t_{пу}$ до температуры воздуха окружающей среды t_{oc} ;

- во всём интервале температур в период охлаждения температуры отливки и стержня одинаковы.

Исходя из этого, коэффициент линейной усадки сплава отливки от температуры $t_{\text{пл}}$ до температуры $t_{\text{ос}}$ рассчитывали по формуле:

$$\alpha_0 = k_0 \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{ос}}) = k_0 \cdot \Delta t_{\text{ПС}},$$

где k_0 – средневзвешенный КТЛР материала отливки в интервале температур от $t_{\text{ос}}$ до $t_{\text{пл}}$, а коэффициент линейной усадки материала стержня от температуры $t_{\text{пл}}$ до $t_{\text{ос}}$ температуры рассчитывали по формуле:

$$\alpha_k = k_k \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{ос}}) = k_k \cdot \Delta t_{\text{ПС}},$$

где k_k – средневзвешенный КТЛР материала стержня в интервале температур от $t_{\text{ос}}$ до $t_{\text{пл}}$.

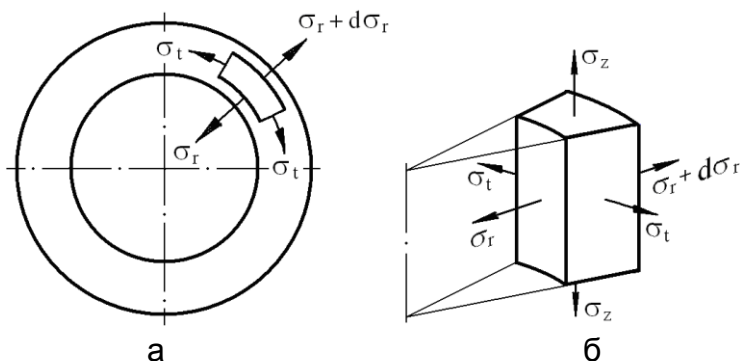
В этом случае, по достижении рассматриваемой системой температуры воздуха окружающей среды, величина натяга внешнего цилиндра (отливки) на стержень составляет:

$$\Delta = (\alpha_0 - \alpha_k) \cdot r_c = \Delta t_{\text{ПС}} \cdot (k_0 - k_k) \cdot r_c, \quad (1)$$

С точки зрения теории сопротивления материалов, полый цилиндр считается толстостенным, если толщина его стенки превышает одну десятую его среднего радиуса. Приняв, что рассматриваемая отливка с этой точки зрения является толстостенной, рассматриваемая задача сводится к задаче Ламе о толстостенной трубе, находящейся под действием внутреннего и внешнего равномерных давлений и относится к случаю плоской деформации (нагрузка не меняется вдоль оси цилиндра, а деформации происходят только в плоскости поперечного сечения цилиндра). То есть, для осесимметричной задачи смещение материала осуществляется только в радиальном направлении (перемещение u).

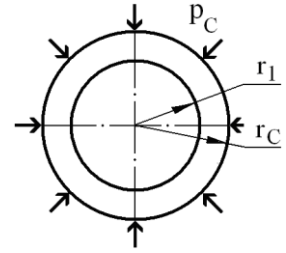
Если из тела цилиндра выделить элемент в форме криволинейного шестигранника (см. рисунок 2), то на его гранях будут следующие напряжения: σ_t – окружные (тангенциальные); σ_r – радиальные; σ_z – осевые, возникающие при осевой нагрузке и являющиеся неизменяемыми по оси и радиусу цилиндра.

Рисунок 2 – Схема вырезки криволинейного шестигранника из тела цилиндра (а) и его общий вид (б)



Натяг в составном цилиндре в результате появления давления p_c по контактной поверхности стержня и внешнего цилиндра (отливки) вызывает напряжения, что схематично представлено на рисунке 3. То есть, давление p_c в рассматриваемой системе взаимодействия тел возникает из-за наличия натяга Δ .

Рисунок 3 – Схема направления (указано стрелками) действия давления p_c на стержень



С целью определения величины давления p_c мысленно отделим стержень от внешнего цилиндра (отливки) и их взаимное действие заменим данным давлением. В этом случае, получаем давление p_c , сжимающее стержень по внешнему радиусу r_c (см. рисунок 3).

Согласно формулы для расчёта напряжения и перемещения в стержне для $r_1 \leq r \leq r_c$ выражения имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \sigma_{r2} = -\frac{r_c^2}{r_c^2 - r_1^2} \cdot \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2}\right) \cdot p_c, \\ \sigma_{\theta 2} = -\frac{r_c^2}{r_c^2 - r_1^2} \cdot \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2}\right) \cdot p_c, \\ u_2 = -\frac{1 - \mu_2}{E_2} \cdot \frac{r_c^2 \cdot p_c}{r_c^2 - r_1^2} \cdot r - \frac{1 + \mu_2}{E_2} \cdot \frac{r_c^2 \cdot r_1^2 \cdot p_c}{r_c^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r}. \end{cases} \quad (2)$$

где μ_2 – коэффициент Пуассона материала стержня; E_2 – модуль упругости (модуль Юнга) материала стержня.

Для внешнего цилиндра (отливки) это давление (p_c) является растягивающим по внутреннему радиусу r_c . Согласно формулы для расчёта напряжения и перемещения во внешнем цилиндре (отливке) для $r_c \leq r \leq r_2$ выражения имеют вид:

$$\begin{cases} \sigma_{r1} = \frac{r_c^2}{r_2^2 - r_c^2} \cdot \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2}\right) \cdot p_c, \\ \sigma_{\theta 1} = \frac{r_c^2}{r_2^2 - r_c^2} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2}\right) \cdot p_c, \\ u_1 = \frac{1 - \mu_1}{E_1} \cdot \frac{r_c^2 \cdot p_c}{r_2^2 - r_c^2} \cdot r + \frac{1 + \mu_1}{E_1} \cdot \frac{r_c^2 \cdot r_2^2 \cdot p_c}{r_2^2 - r_c^2} \cdot \frac{1}{r}. \end{cases} \quad (3)$$

где μ_1 – коэффициент Пуассона материала внешнего цилиндра (отливки); E_1 – модуль упругости (модуль Юнга) материала внешнего цилиндра (отливки).

Во время охлаждения внешний радиус стержня r_c уменьшится и точки на его поверхности получат отрицательное смещение $u_2(r_c)$. Внутренний радиус отливки при этом увеличится и точки на этой поверхности получат положительное смещение $u_1(r_c)$. В этом случае:

$$u_1(r_C) - u_2(r_C) = \Delta, \quad (4)$$

Подставляя в (4) выражения $u_1(r_C)$ и $u_2(r_C)$ согласно формулам (2) и (3), получаем:

$$\Delta = u_1(r_C) - u_2(r_C) = \left[\frac{r_C}{E_1} \cdot \left(\frac{r_2^2 + r_C^2}{r_2^2 - r_C^2} + \mu_1 \right) + \frac{r_C}{E_2} \left(\frac{r_C^2 + r_1^2}{r_C^2 - r_1^2} - \mu_2 \right) \right] \cdot p_C,$$

Отсюда находим выражение контактного давления:

$$P_C = \frac{\Delta}{\frac{r_C}{E_1} \cdot \left(\frac{r_2^2 + r_C^2}{r_2^2 - r_C^2} + \mu_1 \right) + \frac{r_C}{E_2} \cdot \left(\frac{r_C^2 + r_1^2}{r_C^2 - r_1^2} - \mu_2 \right)},$$

или с учётом (1):

$$P_C = \frac{\Delta t_{ПС} \cdot (k_0 - k_K) \cdot r_C}{\frac{r_C}{E_1} \cdot \left(\frac{r_2^2 + r_C^2}{r_2^2 - r_C^2} + \mu_1 \right) + \frac{r_C}{E_2} \cdot \left(\frac{r_C^2 + r_1^2}{r_C^2 - r_1^2} - \mu_2 \right)},$$

или:

$$P_C = \frac{(t_{ПВ} - t_{ОС}) \cdot (k_0 - k_K) \cdot r_C}{\frac{r_C}{E_1} \cdot \left(\frac{r_2^2 + r_C^2}{r_2^2 - r_C^2} + \mu_1 \right) + \frac{r_C}{E_2} \cdot \left(\frac{r_C^2 + r_1^2}{r_C^2 - r_1^2} - \mu_2 \right)}. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива только в случае, когда в каждой из сопрягаемых деталей напряжения не превосходят величину предела пропорциональности их материалов. В случае появления пластических деформаций хотя бы в материале одной из сопрягаемых деталей рассматриваемой системы контактное давление p_C будет иметь меньшую величину, которую можно рассчитать, используя, например, методы теории пластичности.

Для определения факторов, оказывающих наиболее значимое влияние на величину напряжений в стенке отливки и её стержня, используя приведенные выше аналитические выражения, провели расчёт напряжений, сформировавшихся в данных элементах рассматриваемой системы к моменту достижения ею температуры $t_{ОС} = 20$ °С. Теоретические исследования проводили для отливки бесконечной длины с внешним радиусом $r_2 = 35$ мм, внутренним радиусом $r_C = 30$ мм и для стержня с внешним радиусом $r_C = 30$ мм, внутренним радиусом $r_1 = 25$ мм. В качестве материала отливки были приняты бронза и конструкционная не легированная сталь. Величины коэффициентов Пуассона (μ) и модуля Юнга (E), принятые для данных материалов при расчётах, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта напряжений

Параметры	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
	<i>Материал отливки</i>					
	бронза			сталь		

μ_1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
E_1 , МПа	105000	105000	210000	210000	210000	210000
k_1 , град ⁻¹	0,000004	0,000004	0,000018	0,000018	0,000014	0,000014
$T_{пу}$, °С	450	450	450	450	650	650
	<i>Материал стержня</i>					
μ_2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
E_2 , МПа	36000	72000	36000	72000	36000	72000
k_2 , град ⁻¹	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004

Результаты проведенных расчётов представлены в виде зависимостей на рисунке 4, где сплошные линии – тангенциальные напряжения, пунктирные линии – радиальные напряжения.

Из анализа полученных зависимостей следует, что уровень растягивающих напряжений в охладившейся отливке повышается с увеличением: модуля упругости материала стержня; температуры перехода материала охлаждающейся в форме отливки из пластичного в упругое состояние; КТЛР материала отливки и стержня.

Наиболее высокие напряжения сжатия создаются на внутренней поверхности стенки стержня и напряжения растяжения на внутренней поверхности стенки отливки.

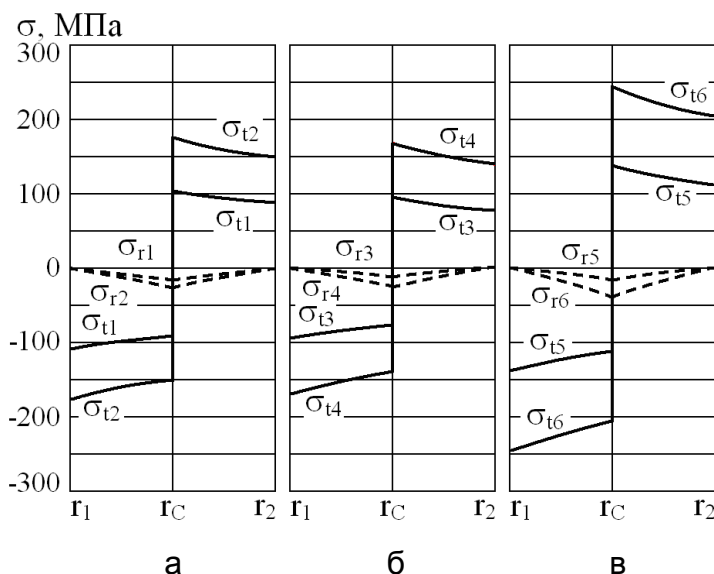


Рисунок 4 – Распределение напряжений в стенке стержня, бронзовой (а), стальной при $t_{пу} = 450$ °С (б) и стальной при $t_{пу} = 650$ °С (в) отливках (индексы в обозначениях кривых соответствуют номеру варианта в таблице 7.5)

При этом, на внутренней поверхности стенки стержня реализуется линейное напряженное состояние, поскольку здесь возникает наибольшее в стержне сжимающее тангенциальное напряжение, а радиальное напряжение в этой точке равно нулю. То есть, во избежание разрушения стержня, на её внутренней поверхности необходимо обеспечить выполнение условия прочности для хрупких материалов при сжатии:

$$|\sigma_{r2}(r_1)| \leq [\sigma_c],$$

где $[\sigma_c]$ – допустимое напряжение на сжатие.

На внутренней поверхности стенки отливки реализуется плоское напряженное состояние. Поэтому здесь возникает наибольшее растягивающее тангенциальное напряжение $\sigma_{t1}(r_c)$ и наибольшее сжимающее радиальное напряжение $\sigma_{r1}(r_c)$. Исходя из этого, для сохранения целостности материала отливки, на её внутренней поверхности необходимо создать условия, при которых выполняется третье условие прочности (для пластичных материалов), а именно:

$$\sigma_{\text{экв}}^{\text{III}} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma],$$

где $\sigma_{\text{экв}}^{\text{III}}$ – эквивалентное напряжение по третьей теории прочности сопротивления материалов, $[\sigma]$ – допустимое напряжение растяжения для пластичных материалов.

Анализ установленных закономерностей и приведенных выше формул показывает, что:

- к моменту окончания охлаждения материал отливки испытывает растягивающие напряжения, а материал стержня – сжимающие;
- наибольшие значения растягивающих напряжений в отливке и сжимающих напряжений в полом стержне – на их внутренних стенках;
- на величину напряжений в материалах рассматриваемой системы наибольшее значение оказывает температура перехода материала отливки из пластичного в упругое состояние, модуль упругости материала отливки и коэффициент термического линейного расширения материала отливки и стержня. При этом, напряжения в стенке отливки тем больше, чем выше уровень указанных параметров;
- увеличение модуля упругости материала стержня вдвое незначительно повлияло на абсолютные значения напряжений, как в отливке, так и стержне.

УДК 669.245:536.421.4

И. И. Максюта, Ю. Г. Квасницкая, А. М. Верховлюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

(044)424-0450, kvasnytska@ptima.kiev.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К КОРРОЗИИ В

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ГАЗО-СОЛЕВОМ ПОТОКЕ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Известно, что жаропрочные сплавы на основе железа, никеля, кобальта, в результате образования на их поверхности плотной защитной окалины, обладают повышенной стойкостью к высокотемпературной коррозии. Однако и в этом случае для надежной работы тонкостенных охлаждаемых деталей ГТД при длительном ресурсе применяют защитные покрытия. При определенных условиях на деталях турбины, вследствие совместного действия примесей, попадающих из топлива и атмосферы, в том числе, серы и солей морской воды, образуются осаднения в твердом или жидком состоянии. Явление ускоренного окисления под действием осаднений примесей называется высокотемпературной коррозией (ВТК).

В данной работе представлены результаты анализа стойкости к высокотемпературной коррозии разработанного сплава типа ХН57КВЮТМБРЛ для рабочих лопаток турбин в сравнении с используемыми в настоящее время в отрасли марочными сплавами СМ88У и сплавом для защитного покрытия лопаток СДП-3А. Последний был выбран как эталонный образец, обладающий высокой стойкостью к рассматриваемому виду коррозии.

Оценку коррозионной стойкости материалов проводили после испытаний на газодинамическом стенде в продуктах сгорания дизельного топлива и солей морской воды. Этот способ ускоренных испытаний выбран как наиболее полно моделирующий условия эксплуатации деталей газотурбинных судовых, энергетических и двигателей для газоперекачки.

Исследования проводились в условиях использования стенда 9У343 (НПКГ «Зоря» - «Машпроект», г. Николаев), который предназначен для проведения испытаний опытных деталей ГТД. При исследовании свойств материалов и покрытий на модельных образцах, выставляемых на выходе жаровой трубы, обеспечиваются необходимые параметры газового потока, имитируются условия химического и теплового воздействия продуктов сгорания дизельного топлива с добавлением смеси солей NaCl и Na_2SO_4 . В данном случае раствор содержал 3% смеси солей (25% NaCl + 75% Na_2SO_4) и 97 % питьевой воды, длительность испытаний составляла 50 часов, с контрольной ревизией образцов через каждые 10 часов при расходе солевого раствора – 0,5 кг/час. Максимальная температура газового потока составляла 1250°C. Температура на испыту-

емых образцах измерялась термодинамикой и составляла 900, 950 и 1000 °С. Система подачи жидкого топлива (дизельное топливо ДСТУ3868) обеспечивает подогрев, фильтрацию и подачу его к форсункам с давлением 60 кгс/см² по двум независимым каналам с суммарным расходом до 1000 кг/ч. Результаты испытаний в области 950 °С представлены в таблице.

Таблица – Результаты стендовых испытаний образцов

Температура в зоне нагрева, °С	Сплав	№ обр.	Сечение образца	Диаметр образца после испытания, d _к , мм	Общая глубина коррозии h _к , мм	Глубина внутренней коррозии (максимальное значение) h, мм	
						фронтально	по границам зерен
950	СМ88У	4	нижнее	6,88	0,44	0,25	-
			среднее	6,77	0,49	0,35	-
	СДП-ЗА	5	нижнее	7,60	0,08	0,10	-
			среднее	7,55	0,11	0,10	-
	Модельный сплав	6	нижнее	7,14	0,31	0,25	0,20
			среднее	6,80	0,48	0,20	0,20

Примечание: $h_k = (d_0 - d_k) / 2$, $d_0 = 7,76$ мм

На основании комплекса сравнительных исследований коррозионных повреждений образцов (металлография, рентгеноструктурный анализ) можно сделать вывод, что введение в легирующий комплекс сплава типа ХН57КВЮТМБРЛ тантала и рения в количестве соответственно 3.5- 5,0% масс. каждого приводит к повышению стойкости материала к ВТК в условиях проведения стендовых испытаний при воздействии газо-солевой среды, вызванной продуктами сгорания дизельного топлива и солей морской воды.

УДК 621.74.045.072.2:669.054.8

И.И. Максютя, Е.В. Михнян, А.В. Нейма, О.А. Тихонова

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

Тел./факс.: (044)424-00-79, e-mail: mixnyan@ukr.net

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ РАСТВОРЯЕМЫХ ППС-МОДЕЛЕЙ

Важным свойством пенополистироловых (ППС) моделей, обеспечивающим возможность их утилизации является способность к растворению во многих растворителях.

Авторы статьи во ФТИМС НАНУ в отделе Физико-химии процессов формообразования продолжили работы по оптимизации процесса получения оболочковых форм путем замены восковых моделей на растворимые ППС - модели (т.н. ЛВМ) при получении равноосных и ориентированных деталей [1]. В том числе были проведены исследования, позволяющие выяснить возможности утилизации отходов литейных моделей из ППС растворением с последующим использованием продуктов растворения.

С экологической точки зрения одним из приемлемых растворителей для поставленных целей является живичный скипидар, но в силу того, что он медленно растворяет ППС и на сегодняшний день имеет высокую стоимость, целесообразно опробовать более доступные по цене и свойствам растворители. Так, после анализа характеристик, были опробованы растворители: № 646 (ТУ У 24.3–00904996–004–2004) и скипидар технический (ТУ 13–0279856–74–87).

Исследования проводили при комнатной температуре, измеряя скорость полного растворения образцов ППС разного типа (блочных, ячеистых). Научная гипотеза предполагает, что кинетика процесса связана с двумя механизмами перемещения молекул растворителя в полимере. Один из них – медленно протекающая диффузия, другой – относительно быстрое капиллярное течение. Поэтому взаимодействие полимера и растворителя имеет в основном характер одностороннего проникновения растворителя в полимер. При этом, наблюдаемая скорость растворения полимеров относительно мала по той причине, что коэффициенты диффузии макромолекул значительно ниже, чем низкомолекулярных веществ. С этой точки зрения решающее значение для растворения полимеров имеет предыстория внешнего воздействия – термического, динамического, химического и, соответственно, структура. Кинетика процесса растворения блочного ППС на примере растворителя № 646 изображена на диаграмме (рис. 1). Видно, что растворение ППС происходит довольно быстро, за считанные секунды, а с увеличением его концентрации, к примеру, до 30 %, длится почти в 3 раза дольше начального значения. Скорость растворения с увеличением концентрации соответственно уменьшается.

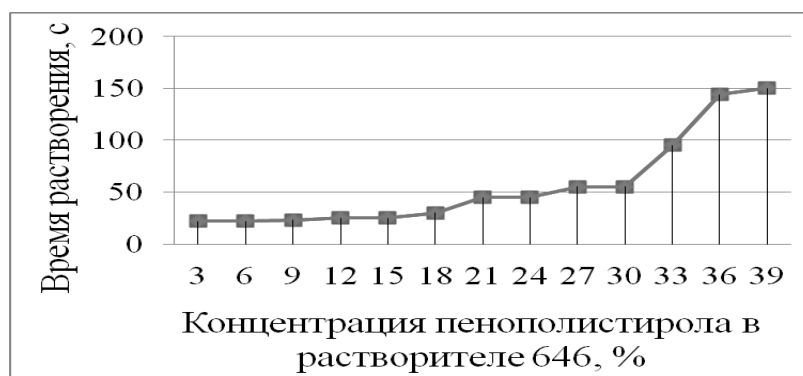


Рисунок 1 – Зависимость времени растворения пенополистирола от его концентрации в растворителе № 646.

Таким образом, экспериментально наблюдаемая особенность растворения блочного ППС состоит в том, что в начальной стадии растворения жидкость проникает в открытые поры и наблюдается некоторая степень разряжения в гранулах ППС, вызванная уменьшением их объема, и постепенно увеличивающаяся до полного распада на отдельные ячейки. Происходит, в некоторой степени, принудительное проникновение (всасывание) растворителя в объем гранул до полного их растворения. То есть, диффундированный таким образом растворитель интенсивно разрушает стирольные стенки ячеек, и на последнем этапе растворения происходит «супербыстрый» распад пенополистирола [2]. Таким образом, в процессе проведенных исследований было показано, что замена живичного скипидара растворителем № 646 является технологически, экономически целесообразной и экологически приемлемой.

Список литературы

1. Шинский О. И., Максютя И. И., Квасницкая Ю. Г., Нейма А. В., Михнян Е. В. Кинетика растворения пенополистироловых моделей при способе литья в оболочковые формы // Процессы литья. – 2013. - №9. - С 14 – 18.

2. Дорошенко В. С., Шинский В. О., Тихонова О. А. Утилизация бытовых и производственных техногенных отходов пенополистирола // Металл и литье Украины – 2014. – №10. – С. 34 – 41.

УДК 621.746: 669.18

В.А. Мамишев, О.И. Шинский, Л.А. Соколовская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ПУТИ УСКОРЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ

Теплофизический процесс затвердевания отливки сопровождается [1,2] физико-химическим процессом кристаллизации расплава в литейной форме. Процессы кондуктивного, конвективного и лучистого теплообмена в системе затвердевающая отливка - песчаная форма - окружающая среда влияют [3] на температурные условия формирования литой структуры отливки в двухфазной зоне жидко-твёрдого и твёрдо-жидкого состояния кристаллизующегося сплава.

Податливые и газопроницаемые, но низкотеплопроводные формы на основе кварцевого песка обеспечивают хорошую заполняемость узких полостей формы металлическим расплавом. Однако низкая теплопроводность песчаных форм препятствует [4] процессу теплоотвода от затвердевающей отливки через стенки формы в окружающую среду. Это приводит к формированию в отливке крупнокристаллической структуры литого металла, что является основной причиной получения литых деталей с низким уровнем физико-механических свойств. Кроме того, низкоинтенсивный теплообмен между кристаллизующимся расплавом затвердевающих отливок и теплоаккумулирующими стенками песчаных форм приводит к очень низкой производительности традиционной технологии литья в низкотеплопроводные песчаные формы.

Чтобы существенно повысить физико-механические свойства отливок из высокотемпературных сплавов на основе железа, меди, алюминия и других металлов и увеличить производительность литья в низкотеплопроводные песчаные формы, необходимо интенсифицировать теплообмен в системе затвердевающая отливка - песчаная форма - окружающая среда. Для этого проанализированы [3,4] принципиально разные пути ускорения термически сопряжённых процессов затвердевания и кристаллизации металлического расплава в полости низкотеплопроводных песчаных форм.

В результате выявлены эффективные подходы к ускорению процессов затвердевания и кристаллизации с целью получения мелкокристаллической структуры отливок и повышения их прочностных и пластических свойств.

К их числу относятся следующие пути интенсификации процессов литья:

- быстрое снятие начального перегрева расплава микрохолодильниками при ускорении внутреннего теплообмена от расплава к твёрдым частицам;

- образование в объёме металлического расплава большого количества дополнительных эндогенных и экзогенных центров кристаллизации;

- активное перемешивание гетерогенного расплава в жидкой сердцевине формирующейся литой заготовки (крупной отливки или слитка);

- увеличение плотности теплового потока от кристаллизующегося расплава к подвижному фронту затвердевания отливки или слитка;

- повышение интенсивности внешнего теплообмена в зоне теплового контакта отливка-форма, слиток-изложница, заготовка-кристаллизатор;

- рациональное снижение температуры поверхности крупных отливок при их затвердевании в низкотеплопроводной песчаной форме;

- предварительное охлаждение сухих песчаных форм до отрицательных температур или замораживание рабочих слоёв сырых песчаных форм;

- значительное понижение температуры нагрева внутренней (рабочей) поверхности стенок сухой или сырой песчаной формы;

- существенное повышение теплоаккумулирующей способности стенок низкотемпературных песчаных форм и стержней;

- увеличение удельного теплового потока с наружной поверхности охлаждения песчаной формы в окружающую среду.

Чтобы ускорить процессы затвердевания и кристаллизации полезно применять методы электромагнитного перемешивания и виброимпульсной обработки расплава, вакуумной формовки, суспензионного литья и литья в низкотемпературные (охлаждённые или замороженные) песчаные формы [4,5].

Список литературы

1. *Ефимов В.А.* Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. *Флемингс М.* Процессы затвердевания / Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 423 с.
3. *Мамишев В.А.* Реотермическая концепция управления кристаллическим строением литых изделий // Процессы литья. – 2004. – № 3. – С. 43 – 48.

4. *Мамишев В.А.* О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка - форма - окружающая среда / *Металл и литьё Украины*, 2012. – №11. – С. 31 – 35.

5.. *Соколовская Л.А.* Учёт теплового сопротивления неметаллических прослоек в контактной зоне теплообмена / *Литейное производство: технология, материалы, оборудование, экономика и экология. Матер. междунар. научно-практ. конф.* – Киев: ФТИМС НАНУ, – 2011. – С. 256 – 258.

УДК 621.771.2.073.8:621.791.756

Е.В. Меняйло

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗОН ОТЛИВОК ИЗ Fe-C СПЛАВОВ ШАРОВОЙ, ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И ПЛОСКОЙ ФОРМЫ

При литье отливок в шаровую, цилиндрическую и плоскую форму затвердевание осевой зоны происходит со скоростью, соизмеримой со скоростью затвердевания металла у поверхности формы. Причем, это происходит, несмотря на то, что скорость охлаждения от поверхности в глубину отливки все время уменьшается. Установлено, что ликвация химических элементов не может быть причиной этого процесса.

Например, известно образование внутреннего (или обратного) отбела в осевой зоне чугунных отливок, когда поверхностный слой имеет структуру серого чугуна, а середина - структуру белого или половинчатого чугуна. Поэтому данное исследование посвящено объяснению причины увеличения скорости затвердевания в центре отливки.

Для расчета продолжительности затвердевания отливок используют, как правило, уравнение квадратного корня: $x=k\tau^{0,5}$, где x – толщина затвердевшего слоя металла; τ – время; k – коэффициент затвердевания. Величина k представляет собой корень сложного трансцендентного уравнения и зависит от множества факторов, характеризующих процесс затвердевания. Согласно уравнению квадратного корня, скорость затвердевания в осевой зоне отливки должна уменьшаться. Расчет коэффициента затвердевания по Н.И. Хворининову не меняет результата.

Однако, в реальных отливках, несмотря на постоянное уменьшение теплопроводности из отливки в форму, в центральной (осевой) зоне плоской, цилиндрической и шаровой отливок фиксируется ускорение продвижения фронта затвердевания.

Изменение вида сплава не влияет на общий характер затвердевания. Как показали исследования многих авторов, отливки из стали, чугуна и алюминия имеют более мелкое зерно в осевой зоне по сравнению с микроструктурой на половине радиуса. Причем, конфигурация литейной формы влияет на скорость перемещения фронта затвердевания в осевой зоне: в шаровой форме она выше, в цилиндрической - ниже, а в плоской - минимальна.

Если допустить, что процесс затвердевания центральных зон отливок происходит по гетерогенному механизму, то центрами кристаллизации будут являться дендриты твердой фазы (рис. 1). Тогда ускоренное затвердевание центральных зон отливок для границы выливания и затвердевания обусловлено увеличением количества растущих центров кристаллизации на единицу объема сплава или поверхности при сужении фронта затвердевания в осевой зоне.

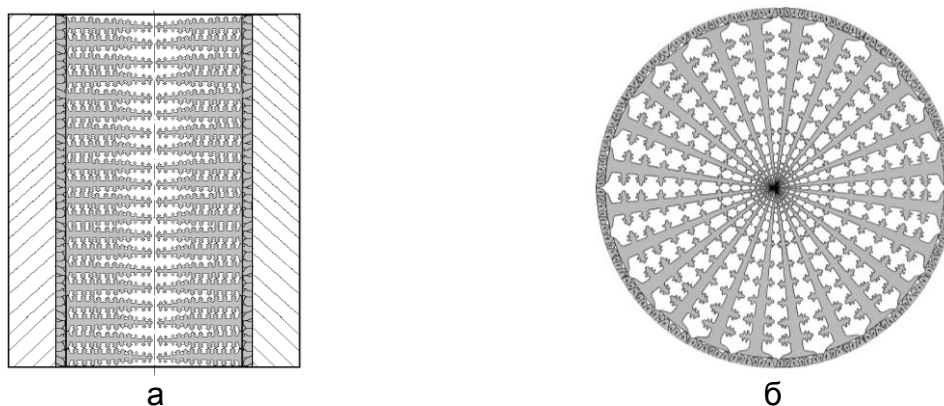


Рис. 1 Схема гетерогенного механизма затвердевания центральных зон отливок плоской (а), цилиндрической и шаровой форм (б) с центрами кристаллизации - дендритами твердой фазы при сужении фронта затвердевания

Схема гетерогенного механизма затвердевания центральных зон отливок плоской, цилиндрической и шаровой форм с центрами кристаллизации - дендритами твердой фазы, объясняет результаты экспериментальных исследований при сужении фронта затвердевания.

Расчеты показали, что на ускоренное затвердевание центральных зон отливок влияют только центры кристаллизации (растущие дендриты) на единицу объема не затвердевшей части отливки. Так после затвердевания половины радиуса плоской и цилиндрической отливки количество центров кристаллизации на единицу поверхности фронта затвердевания будет в 2 раза больше, чем у поверхности отливки, а при затвердевании осевой зоны шаровой отливки – в 4 раза больше, чем у поверхности отливки.

УДК 621.74

А.О. Михайлова, К.О. Костик

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТИ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНІВ НА ПІСКОДУВНИХ АВТОМАТАХ

Ливарне виробництво відноситься до заготовчого виробництва в машинобудуванні, тобто за допомогою технологій ливарень виготовляється велика частина заготовок для подальшої механічної обробки і отримання готових деталей машинобудування. В порівнянні з іншими способами виготовлення заготовок, зокрема з технологіями обробки металів тиском, литво володіє рядом переваг. Основними з них є можливість виготовлення складних по конфігурації відливок практично необмеженої маси. При цьому можуть бути отримані відливки з будь-яких сплавів.

Литво в разові піщані форми за об'ємом займає перше місце серед всіх видів литва. За допомогою цієї технології відливається велика кількість відливок при серійному і масовому характері виробництва з чорних і кольорових сплавів. Обсяг литва, що виготовляється в разові форми складає близько 80% усього обсягу литва. Враховуючи продуктивність даної технології і якість отримуваних відливаних, дана технологія знайшла широке застосування в ливарних цехах підприємств. За допомогою даного техпроцесу можна отримувати як дрібні, так і достатньо габаритні відливання. Якщо відливки мають внутрішні порожнини довільної форми, для їх виготовлення застосовують стрижні довільної форми і заданої конфігурації.

Стрижні виготовляють на стрижньових машинах. Це можуть бути піскодувні і піскострільні машини, автомати, що дозволяють виготовляти стрижні з високою продуктивністю і ритмічністю, диктованою потребою ливарного конвеєра, або напівавтомати.

Конструкція стрижньових автоматів включає робочі органи, виконавчі, розподільні і такі, що управляють пристрої. Проектування стрижньових автоматів є важливим завданням, оскільки від їх характеристик залежить якість отримуваних стрижнів і отже якість литва, що виготовляється, а також продуктивність ділянки і ливарного цеху в цілому.

Суть процесу виготовлення стержнів на піскодувних автоматах полягає в тому, що стрижньова суміш транспортується за допомогою стислого повітря з піскодувного резервуару машини через вдувні отвори в технологічну ємність – стрижньовий ящик, і заповнюючи її, одночасно в ній ущільнюється. Стисле повітря, що транспортує суміш видаляється з технологічної місткості в атмосферу через спеціальні вентиляційні отвори.

УДК 621.74.045

А.М. Михайловская, О.В. Гнатенко, В.В. Наумик

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ЖС32-ВИ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Высокая стоимость жаропрочных никелевых сплавов, а также их недостаточно удовлетворительные механические свойства вынуждают к поиску решений этих проблем. Рений является основным дорогостоящим элементом, который влияет на способность сплавов противостоять высоким температурам без особых видимых дефектов и разрушений. Разработка надежного, но более

дешевого сплава на основе уже известного ЖС32-ВИ даст необходимый экономический эффект.

В вакуумных индукционных электропечах ОКБ-860 и УППФ-3М проводили термовременную обработку расплавов, а на установке типа УВНК-8П были получены отливки и образцы из жаропрочных никелевых сплавов с направленной и монокристаллической макроструктурой.

Опытные образцы получали в два этапа. На первом этапе в вакуумной индукционной печи УППФ-3М в среде аргона под давлением 1,4...5,3 МПа в тиглях с основной футеровкой из опытных сплавов изготавливали слитки весом 10 кг. Заливка металла проводилась при температуре металла 1540 °С в керамические формы, предварительно нагретые до температуры 900 °С. На втором этапе полученные слитки переплавляли и заливали в специальные керамические формы с предварительно установленными в них стартовыми кристаллами ("затравками") из бинарного сплава системы (Ni-W) для получения монокристаллических образцов из опытных сплавов.

Изучили влияние увеличения в составе жаропрочного никелевого сплава ЖС32-ВИ содержания тантала от 4,0 % до 9,0 % при одновременном снижении содержания рения от 4,0 % до 1,5 % на его свойства. Результаты анализа химического состава приведены в таблице 1.

Результаты механические испытания на кратковременную прочность образцов с монокристаллической [001] макроструктурой опытных составов № 1 – № 5 и их математической обработки показали, что в опытном составе № 5, содержащем 9 % тантала и 1,5 % рения, прочностные характеристики заметно снижаются, по сравнению со сплавом ЖС32-ВИ и опытными сплавами № 1 – № 4.

Таблица 1 – Химический состав сплавов опытных плавов.

Сплав №	Содержание легирующих элементов, % (по массе)										
	C	Cr	Co	W	Mo	Al	Nb	Ta	Re	Zr	B
ЖС32-ВИ	0,15	4,9	9,3	8,2	1,1	5,8	1,6	4,0	4,0	0,05	0,015
1	0,14	5,1	9,1	8,0	1,0	5,9	1,4	5,0	3,5	0,05	0,015
2	0,15	4,9	9,0	8,2	0,9	6,1	1,5	6,0	3,0	0,05	0,015
3	0,14	4,8	8,9	8,1	1,0	6,0	1,6	7,0	2,5	0,05	0,015
4	0,15	5,0	9,0	8,0	0,9	6,1	1,5	8,0	2,0	0,05	0,015
5	0,16	5,2	9,1	7,9	1,1	6,2	1,6	9,0	1,5	0,05	0,015

Сплав № 4, содержащий 8 % тантала и 2 % рения (см. табл. 1) является оптимальным с точки зрения прочностных характеристик и себестоимости.

Список литературы

1. Гнатенко О.В. Разработка оптимального состава экономнолегированного жаропрочного никелевого сплава с повышенной фазовой стабильностью / О.В. Гнатенко, С.В. Гайдук, В.В. Наумик // Неметалеві вкраплення і газу у ливарних сплавах: збірник тез XIII Міжнародної науково-технічної конференції, Запоріжжя, 9 – 12 жовтня 2012 р. / відп. ред. В.В. Луньов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – С. 106 – 107.

УДК 621.74.074:045.072.2

И.А. Небожак

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫМ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОМ FeCr, ИМПЛАНТИРОВАННЫМ В ГАЗИФИЦИРУЕМУЮ МОДЕЛЬ, НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АК12

Литейные Al-сплавы получили широкое распространение практически во всех областях народного хозяйства, а в авиации и ракетостроении эти сплавы играют исключительно важную роль. Это стало возможным благодаря удачному сочетанию высокой удельной прочности с хорошими технологическими и литейными свойствами. Однако, низкие твердость и износостойкость Al-сплавов ограничивают их использование в технике для изготовления деталей, работающих в узлах трения и условиях абразивного износа.

Используя преимущества ЛГМ-процесса и его возможности, во ФТИСМ НАНУ были получены образцы изотропного (нульмерного) ЛКМ системы [Al – FeCr] на базе литейного Al-сплава марки АК12 ГОСТ 1583-93. Этот ЛКМ представляет собой сплав АК12 + 10 % (масс. доля) интерметаллида FeCr, более известного в сплавах системы “Fe – Cr” как σ -фаза [1].

Газифицируемые модели с имплантированной присадкой дисперсного интерметаллида FeCr – армирующей фазы (АФ) изготавливали автоклавным

методом [2]. АФ вводили по методике, разработанной во ФТИМС НАН Украины [3].

С целью определения эффективности армирования сплава АК12 ГОСТ 1583-93 интерметаллидом FeCr по высоте отливок были исследованы структура и механические свойства материала. Результаты металлографического анализа (рис. 1) показали, что ЛКМ системы [Al – FeCr] имеет оптимальную трибоструктуру – АФ равномерно распределена в поле шлифа, а металлическая матрица отличается равномерным распределением включений кремнистой эвтектики в основе сплава. Основа базового сплава АК12 ГОСТ 1583-93 имеет крупнозернистую структуру.



Рис. 1. Микроструктура ($\times 200$) ЛКМ системы [Al – FeCr] (а) и базового сплава АК12 ГОСТ 1583-93 (б)

Графическая интерпретация результатов механических испытаний подопытных образцов (рис. 2) позволила установить, что механические свойства ЛКМ системы [Al – FeCr], как и контрольного сплава АК12 ГОСТ 1583-93, изменяются по высоте литой заготовки, причем показатели более высокие в нижней и верхней частях отливки (за исключением относительного удлинения образцов из базового сплава АК12 ГОСТ 1583-93), что объясняется большей плотностью материала в этих зонах, обусловленной характером протекания кристаллизационных процессов.

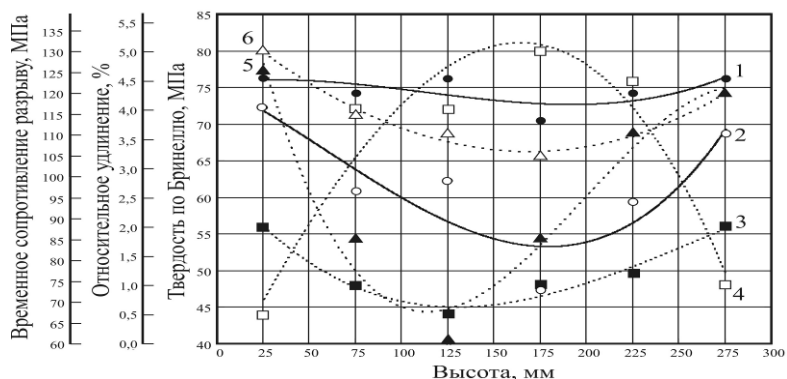


Рис. 2. Зависимость механических свойств ЛКМ системы [Al – FeCr] (1, 3, 5) и базового сплава АК12 ГОСТ 1583-93 (2, 4, 6) от высоты отливки:

1, 2 – твёрдость по Бринеллю; 3, 4 – относительное удлинение;

5, 6 – временное сопротивление разрыву

Временное сопротивление разрыву и относительное удлинение ЛКМ системы [Al – FeCr] в среднем, соответственно, на 17,5 МПа и 1,9 % ниже тех же свойств контрольного сплава АК12 ГОСТ 1583-93, в то время как, твёрдость ЛКМ системы [Al – FeCr] на 12,8 МПа выше твёрдости соответствующего базового сплава. Тем не менее, относительное удлинение и твёрдость ЛКМ системы [Al – FeCr], соответственно, на 0,3 % больше относительного удлинения при литье под давлением и на 24,7 МПа выше твёрдости при всех способах литья сплава АК12, оговоренных ГОСТ 1583-93.

Таким образом, ЛКМ системы [Al – FeCr] состоялся как таковой. Его можно рекомендовать для промышленного использования как “лёгкий”, твёрдый и, возможно, износостойкий конструкционный материал.

Список литературы

1. Гаврилюк В.П., Хаустова Л.В. Особенности процесса образования и растворения σ -фазы в высокохромистых литых сплавах // *Металл и литьё Украины*. – 1994. – № 11–12. – С. 21–25.

2. *Литьё по газифицируемому: Монография* / Степанов Ю.А., Гришин Д.С., Кирпиченков В.П. и др. / Под. ред. Ю.А. Степанова. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с. – (Основы теории и технологии).

3. Пат. 244 України, МКІЗ В22С7/02, В22С3/00. Спосіб виготовлення моделей із пінополістиролу / О.Й. Шинський, Л.П. Вишнякова, В.Н. Плотнікова, Є.Ф. Князєв (Україна); Інститут проблем лиття НАН України (Україна). – № 3493216/22–02; Заявл. 15.01.93; Опубл. 30.04.93, Бюл. № 1; Приоритет 27.09.82, № 1079340 А1 (СРСР). – 1 с.

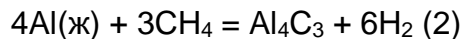
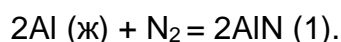
УДК 541.183

Б.М. Немененок, А.С. Панасюгин, Д.П. Михалап

Белорусский национальный технический университет, Минск

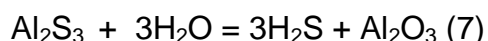
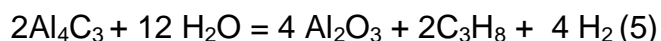
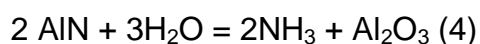
ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ВО ВЛАЖНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ШЛАКАМИ

Вторичная переработка алюминия сопровождается образованием шлака, количество которого, в зависимости от качества вторичного сырья, может составлять 9-18% от массы расплавленного алюминия. Со шлаком теряется значительное количество алюминия, как в виде металлического алюминия снятого вместе со шлаком, так и в виде оксида алюминия. Значительное количество соединений алюминия, способных к гидролизу во влажной атмосфере воздуха, таких как нитриды, сульфиды и карбиды выявляются при рентгеноструктурном анализе отвальных шлаков. На практике наличие нитридов, сульфидов и карбидов алюминия в дождливую погоду проявляется в виде выделений в атмосферу аммиака, ацетилена, пропана или сероводорода. В температурном интервале 400-800 °С расплавленный алюминий вступает во взаимодействие с компонентами воздуха и печной атмосферы, которые описываются следующими химическими реакциями:



Целью данной работы являлось - определение термодинамической вероятности протекания процессов образования соединений алюминия, способных во влажной атмосфере (при гидролизе) выделять в окружающую среду аммиак, ацетилен, пропан или сероводород.

Термодинамические расчеты проводили с использованием программы «IVTANTERMO» версия 2.0. Из результатов проведенных термодинамических расчетов (значений ΔG) для реакций 1-3 следует, что при повышении температуры до 800 °С протекание данных реакций имеет большую термодинамическую вероятность. В результате гидролиза (контакта с атмосферной влагой) происходят следующие химические превращения:



Полученные значения термодинамических величин ΔG в зависимости от температуры разогрева алюминиевого шлака при гидролизе (реакции 4-7), как и для случая образования исходных нитридов, сульфидов и карбидов алюминия, подтверждают их большую термодинамическую вероятность протекания. Более того, если сопоставить значения ΔG образования исходных соединений и ΔG продуктов гидролиза, обращает на себя внимание тот факт, что протекание реакций гидролиза с точки зрения термодинамики в несколько раз более выгодно. Интервал ΔG образования исходных продуктов (-31,7) – (147,1) kCal/mol, а для продуктов гидролиза соответственно (-55,3) – (773,8) kCal/mol.

Рассмотренные выше процессы идут даже при условии, когда остывший до температуры окружающей среды шлак вступает в контакт с атмосферной влагой. По данным наблюдений, в зависимости от условий окружающей среды содержание металлического алюминия в шлаке по сравнению с исходным содержанием при хранении в течение 4-6 месяцев может снижаться на 5-7%.

Таким образом, изученные закономерности позволили сделать вывод о том, что процесс образования карбидов, сульфидов и нитридов алюминия возможен, а термодинамические параметры реакций гидролиза дают основание включить в перечень измеряемых факторов производственной среды и такие соединения как аммиак, сероводород, ацетилен и пропан, которые не используют в процессе переработки алюминия.

Поэтому необходимо оптимизировать порядок обращения и условия хранения алюминиевых шлаков с целью снижения безвозвратных потерь алюминия и выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от неорганизованных источников (мест хранения шлака).

УДК 669.715

Б.М. Немененок, Л.В. Трибушевский, Г.А. Румянцева, И.А. Горбель

Белорусский национальный технический университет, г.Минск

БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

В настоящее время переработка шлаков, образующихся в процессе плавки алюминиевых сплавов и стружки, успешно реализуется на многих пред-

приятиях с использованием различных плавильных агрегатов. Однако, в результате такой переработки, образуются новые отходы в виде шлаков, которые содержат около 7 % алюминия металлического, 70-75 % оксида алюминия, хлориды и оксиды натрия и калия, а также оксиды железа.

Дальнейшая металлургическая переработка этих отходов экономически нецелесообразна, и поэтому они подлежат захоронению на промышленных полигонах. В то же время, при определенной доработке, а именно, дроблении и механическом смешивании с мелкой фракцией алюминиевой стружки, данный материал можно использовать для раскисления сталеплавильных шлаков.

Испытания смеси на основе отходов металлургии вторичного алюминия («АРС» - алюмосодержащая раскисляющая смесь) проводили на ОАО «БМЗ» - управляющая компания холдинга «БМК». Материал использовали при внепечной обработке стали для раскисления шлака взамен традиционного раскислителя на основе алюминия. Присадку АРС осуществляли сразу после выпуска расплава из дуговой сталеплавильной печи емкостью 100 т на установке доводки металла либо в печь-ковш. Науглероживатель и ферросплавы вводили после раскисления шлака. Присадку АРС добавляли порциями по 20-40 кг с общим расходом 60-120 кг на плавку. Цвет шлака в сталь-ковше в ходе обработки в зависимости от окисленности (суммы оксидов FeO и MnO) изменялся с черного до светло-серого и белого. Содержание оксида алюминия в шлаке сразу после присадки АРС составляло в среднем 17 %, но при дальнейшей обработке сплава, в ходе присадки шлакообразующих, снижалось до 13 %. Одновременно содержание оксидов железа и марганца снизилось с 2,25 % в начале раскисления до 1,37 % в конце. После обработки шлака АРС визуально отмечалось повышение его жидкотекучести, достигавшей максимума при присадке 100 и более килограмм опытного материала. При этом ухудшения разливаемости стали на опытных плавках не происходило. При ковшовой металлургии все процессы с участием активного элемента (алюминия) протекают не изолированно один от другого, не разобщено, а совместно и чаще всего одновременно, то есть они совмещены, как в пространстве, так и во времени. Ответ на вопрос о приоритетном протекании реакции можно получить из температурной зависимости изобарно-изотермических потенциалов реакций взаимодействия алюминия с основными примесями, содержащимися в сталях. Расчеты показывают, что при температурах обработки расплава стали возможны реакции взаимодействия алюминия с кислородом и серой. Реакция образования сульфида

алюминия протекает с большой вероятностью, хотя константа ее равновесия ниже, чем у реакции образования Al_2O_3 .

Анализ химического состава стали до и после обработки раскислительной смесью показал значительное снижение содержания серы. Степень десульфурации стали, обработанной с использованием АРС, находилась в пределах от 23,9 % до 61,1 % и в среднем составила 38,7 %. Степень десульфурации сравнительных плавок с использованием стандартного раскислителя находилась в пределах от 17,0 % до 57,1 % и в среднем составляла 35,5 %.

При обоих вариантах обработки шлака основным десульфуратором являлся оксид кальция, но в случае использования АРС, мелкие частицы алюминия распределялись по объему шлака более равномерно, чем пирамидки алюминия, что и способствовало протеканию процессов раскисления и десульфурации в более полном объеме.

Использование шлаков от переработки окисленных отходов алюминия для раскисления сталеплавильных шлаков позволяет не уплачивать налоги на их захоронение и повысить рентабельность предприятий, специализирующихся на переработке алюминиевой стружки и шлаков.

УДК 669.018.28: 539.62

В. Г. Новицкий

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г. Киев

Тел. 044 4242450, e-mail: v_novytskyi@ukr.net

**ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ ЛИТЫХ СПЛАВОВ Fe-Cr-Cu-C И ИХ
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ
СКОЛЬЖЕНИЯ**

Актуальность применения новых трибоматериалов возрастает по мере интенсификации рабочих процессов и повышения их параметров, так как это приводит к увеличению интенсивности изнашивания узлов трения. Потери на трение составляют до 30 % потребляемой в мире энергии, а экономия от использования достижений в области трибологии составляет 1,3-1,6 % от валового национального продукта развитых в промышленном отношении стран.

Установлено, что трибологические характеристики материалов существенно зависят от вторичной структуры, формирующейся на поверхностях материалов в процессе трения, и она зависит от исходной структуры и внешних параметров трения. При минимальном износе материала происходит оптимизация структурных характеристик поверхностного слоя трения. Для поддержания оптимальной вторичной структуры в условиях сухого и граничного трения перспективным представляется использование матричной смазки, которая располагается в исходной структуре материала в виде мягких структурных составляющих. В качестве таких мягких структурных составляющих могут служить высокомедистые включения ϵ -фазы, которая располагается в матрице литых сплавов (ЛС). Эти включения, в процессе трения, плакируют контактируемые поверхности от прямого воздействия, что позволяет увеличить нагруженность узла трения при соблюдении условий допустимого износа.

В качестве исследуемого объекта были выбраны ЛС системы Fe-Cr (15,8-18,7 %)-Cu-C с фиксированным содержанием углерода 1,27-1,34 %, но с различным содержанием меди – 8,5 % (а), 18,1 % (б) и 33,8 % (в). Повышение содержания меди в ЛС (рис. 1) приводит к изменению характера распределений высокомедистых включений ϵ -фазы в структуре ЛС и с увеличением содержания меди в ЛС отмечается увеличение объемной доли крупных высокомедистых включений. При содержании 33,8 % меди в ЛС отмечается также появление твердых включений непосредственно в высокомедистой ϵ -фазе.

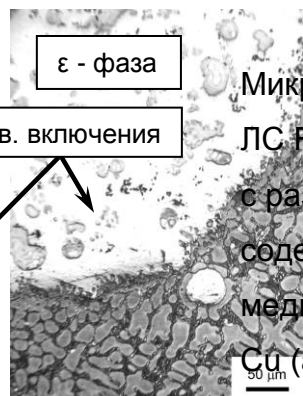
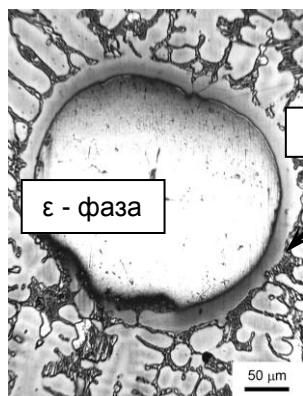
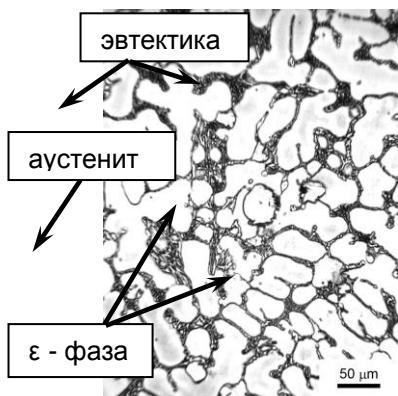


Рис. 1. Микроструктура ЛС Fe-Cr-Cu-C с различным содержанием меди – 8,5 % Cu (а), 18,1 %

а

б

в

Cu (б), 33,8 %

Cu (в)

Испытания ЛС на износостойкость ($V_{ск.} = 1 \text{ м/с}$; $P = 5 \text{ МПа}$) в условиях сухого и граничного трения показали, что увеличение содержания меди в ЛС приводит к уменьшению интенсивности их изнашивания в условиях сухого трения в 7,7 раза, а в условиях граничного трения – в 3,3 раза. Это достигается за счет увеличения количества и размеров включений высокомедистой ϵ -фазы, что приводит к увеличению ее способности образовывать на поверхности трения пластифицируемый слой, который предохраняет контактируемые поверхности от чрезмерного изнашивания.

Величина интенсивности изнашивания ЛС обусловлена как различием исходных структур ЛС, так и особенностями перераспределения легирующих элементов на поверхностях трения образцов и контртел и формирования вторичной структуры в поверхностных слоях трения.

– в условиях сухого трения наименьшей интенсивностью изнашивания обладает ЛС с содержанием 33,8 % меди. В данном случае в приповерхностном слое трения отмечается минимальная величина параметра решетки γ -фазы, микроискажений II ($\Delta a/a$) γ и III рода ($\sqrt{u^2}$) γ , плотности дислокаций $\rho\gamma$.

– в условиях граничного трения ЛС с содержанием 33,8 % меди также имеют минимальную интенсивность изнашивания. При этом в поверхностном слое трения параметр решетки γ -фазы имеет минимальное значение, как и величина микроискажений II рода ($\Delta a/a$) γ .

– При минимальной интенсивности изнашивания ЛС с содержанием 33,8 % меди в условиях сухого и граничного трения на поверхности контртел появляется максимальное содержание меди - 26,1 и 6,5 % что существенно влияет на положительный градиент механических свойств по глубине, необходимый для осуществления минимизации внешнего трения.

УДК 669.3:621.74.047

Г.А. Оборский, И.В. Прокопович, М.М. Костина, М.А. Духанина

Одесский национальный политехнический университет

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ МЕДНОЙ КАТАНКИ

Для производства заготовок для волочения медных проводов тонких и сверхтонких сечений (катанки) в настоящее время используются различные технологические процессы [1, 2]:

- горячей прокаткой из медных слитков;
- непрерывным литьем заготовки с последующей прокаткой до требуемого сечения;
- непрерывным литьем заготовки с конечным требуемым сечением.

В первых двух случаях получают ЕТР-катанку, и при этом происходит насыщение меди кислородом, что отрицательно сказывается на технологических и электротехнических свойствах меди. Третий технологический процесс позволяет получить НСОФ-катанку (безкислородную), что существенно сокращает количество разрывов при волочении [2, 3].

При непрерывном литье меди для нужд кабельного производства на ПАТ “ОДЕСКАБЕЛЬ” катанку получают на многоручьевых литейных машинах (Urcast) в виде бесконечного слитка постоянного сечения при прохождении расплава через узел кристаллизатор-охладитель [4]. При этом используется многоручьевая литейная машина с двумя технологическими осями X и Y. Каждая технологическая ось позволяет получать катанку в 8 стренг.

Однако применяемый процесс производства, не может обеспечить полной бездефектности катанки. Качество катанки (K) регламентируется ее физико-механическими свойствами: овальностью (O), окисленностью поверхностного слоя (ОП), удельным объемным электрическим сопротивлением (ρ), временным сопротивлением разрыву (σ), абсолютным (δ_{200}) и относительным (ОУ) удлинением после разрыва, количеством выдержанных скручиваний с последующим раскручиванием (СР) и скручиваний (С) в одну сторону без разрушения [5, 6], таким образом:

$$K=f(O, ОП, \rho, \sigma, \delta_{200}, ОУ, СР, С).$$

При эксплуатации данной установки выявлено, что при одинаковых условиях (температура расплава, скорость литья, температура и расход охлаждающей жидкости) на различных стренгах появляется производственный брак, связанный с неправильным теплообменом в узле “кристаллизатор — охладитель” [3]. Кроме того классность качества катанки при отсутствии явно выраженного брака на разных стренгах так же различна.

О ходе процесса кристаллизации и интенсивности теплообмена можно судить по температуре поверхности стренги при выходе из литейной машины. В производственных условиях участка непрерывного литья медной катанки проводили замеры температур стренг, которые показали, что данная температура разнится от стренги к стренге при одинаковых технологических параметрах процесса.

Сопоставление температур поверхности катанки на выходе из литейной машины с механическими испытаниями и исследованиями структуры позволило выявить зону оптимальных температур (40...80 °С), при которых катанка имеет стабильные показатели качества.

При температуре поверхности до 40 °С катанка имеет в структуре мелкие столбчатые кристаллы, в интервале температур 40...80 °С — равновесные столбчатые кристаллы, а при температуре свыше 80 °С — крупные столбчатые кристаллы и осевую пористость, что влияет на механические свойства катанки. Различие в структурах, говорит о ходе процесса кристаллизации медной катанки и соответственно об интенсивности теплообмена в узле “кристаллизатор — охладитель”. Таким образом, косвенным параметром, определяющим качество непрерывного слитка, может являться температура поверхности катанки при выходе из литейной машины [7]. Своевременное определение данной температуры и температур поверхности слитка в охладителях дает возможность менять технологические параметры процесса (расход охлаждающей жидкости, скорость литья) с целью стабилизации классности качества. Принципиальная схема организации замеров температуры представлена на рис. 1.

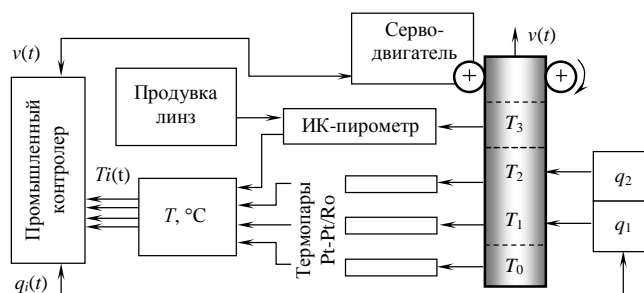


Рис. 1. Организация замеров температуры, расхода воды и скорости литья (б) на одной стренге

Для контроля температуры поверхности катанки на выходе стренг из вторичных охладителей 16-ручьевой машины непрерывного литья установлены бесконтактные инфракрасные пирометры (ИК-пирометры) для обеспечения

максимально точного измерения температуры поверхности без возможного влияния температуры окружающей среды. В силу повышенной запыленности воздуха рабочей зоны, к линзам пирометров предусмотрен подвод сжатого воздуха для очистки продувкой. ИК-пирометр имеет выходной сигнал, соответствующий характеристике стандартной термопары J-типа (железо-константан) в диапазоне температур $-18...1200$ °С. Данные передаются в специальный блок контроллера, где переводятся в цифровой вид для дальнейшей интерпретации и занесения в базу данных. Время стробирования для всех пирометров составляло 2 с.

Температуру поверхности катанки находящейся в охладителях снимают при помощи платина-платинородиевых (Pt-Pt/Ro) термопар, которые вмонтированы в стенки охладителей. Температуру расплава постоянно измеряют такой же термопарой. Кроме того предлагается контролировать температуру охлаждающей жидкости на входе при помощи биметаллических термометров, и расход воды поплавковыми расходомерами.

Литература

1. McNulty, Michael J. 1995. Multi-wire technology: The Advantage and the Challenge. In: Non ferrous wire handbook. Volume 3: Principles and Practice. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
2. Metzler, David A. 1995. Ultrafine Drawing of Copper Wire In Non ferrous wire handbook Volume 3 Principles and Practice. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
3. Прокопович О.И., Прокопович И.В., Гогунский В.Д. Автоматизация производства высококачественной катанки для изготовления проводов сверхтонких сечений // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одеса, 2002. Спецвыпуск. – С. 68 – 71.
4. Pietila, Seppo. 1995. Outokumpu Upcast® Continuous Casting System. In: Non ferrous wire handbook. Volume 3: Principles and Practice Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
5. ТУ 16-705.491-2001. Катанка медная. — Ассоциация “Электрокабель”, Россия, 2001. – 13 с.
6. ТУ У 27.4-05758730-028–2003. Катанка медная. – ОАО Одесский кабельный завод “Одескабель”, 2003. – с. 20.

7. Прокопович О.И., Прокопович И.В., Гогунский В.Д. Температура поверхности катанки как косвенный параметр качества // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2003. — Вып. 2(20). — С. 128 – 130.

УДК 669.715:62-412:621.74.047

С.Л. Поливода, М.О. Поливода, А.В. Серый

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ВАКУУМНЫХ МГД-УСТАНОВКАХ

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработан комплекс металлургического оборудования, состоящий из вакуумной магнитодинамической установки и машины полунепрерывного литья слитков с автоматической системой управления процессами приготовления алюминиевых деформируемых сплавов, в том числе высокопрочных [1,2]. Для полной автоматизации этих процессов разработан метод контроля дегазации алюминиевых сплавов во время их вакуумного рафинирования в МГД-установке, в основу которого положен принцип метода первого пузырька [3], а также явление отклонения значений тока индуктора МГД-установки от начального значения ($I_{нач.}$) в процессе вакуумирования и их возврат к $I_{нач.}$ при восстановлении в вакуумной камере МГД-установки атмосферного давления. Сущность этого явления заключается в повышении электрического сопротивления жидкого металла при образовании в нем пузырьков водорода вследствие наложения вакуума и восстановлении первоначальных значений сопротивления при переходе водорода из газообразного состояния в атомарное и растворения его в жидком металле после снятия вакуума.

Разработанный метод определения газосодержания алюминиевых сплавов в вакуумных МГД-установках позволяет определять содержание водорода в любой момент технологической операции вакуумного рафинирования. Это предполагает следующие операции: восстановление атмосферного давления и последующее повторное снижение остаточного давления в вакуумной камере, автоматическая фиксация значений температуры жидкометаллического витка, являющегося вторичной обмоткой индуктора МГД-установки, и остаточного

давления в вакуумной камере в момент, когда ток индуктора отклоняется от $I_{нач}$. Таким образом, начало изменения тока индуктора в процессе вакуумирования сплава считается моментом выделения из расплава первого пузырька. Значение газосодержания сплава автоматически рассчитывается промышленным контроллером по формуле [3] и выводится на дисплей пульта управления:

$$\lg Q_{H_2} = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \lg \frac{P}{133},$$

где: Q_{H_2} - содержание водорода, см³/100 г; T - температура расплава, замеренная в момент появления первых пузырьков на поверхности зеркала расплава, К; P - давление над металлом, замеренное в момент появления первых пузырьков на поверхности зеркала расплава, Па; A и B - коэффициенты.

Экспериментальная проверка точности разработанного метода автоматического контроля процесса дегазации алюминиевых сплавов в МГД-установках показала, что его погрешность составляет 12 - 17% в сравнении с методом вакуум-плавания.

Практическая реализация этого метода осуществлена в вакуумной МГД-установке МДВ-250А, изготовленной и поставленной по контракту с Китайской северной индустриальной корпорацией «Норинко».

Список литературы

1. Пужайло Л.П., Серый А.В., Поливода С.Л. Технология и оборудование для получения слитков из высокопрочных алюминиевых деформируемых сплавов методом полунепрерывного литья // "Вісник Донбаської державної машинобудівної академії". - 2010.- №3.- с.227-229.
2. Поливода М.О., Пужайло Л.П., Серый А.В. Автоматическая система управления процессом полунепрерывного литья слитков из алюминиевых деформируемых сплавов // Материалы 4-той научно-практической конференции молодых ученых «Новые литейные технологии и материалы в машиностроении», Киев, ФТИМС НАНУ, 8-10 октября 2012 г.
3. ГОСТ 21132.0-74 Алюминий и сплавы алюминиевые. Метод определения содержания водорода в жидком металле.

УДК 621.74

О.И. Пономаренко¹, Т.В. Берлизева¹, А.А. Радченко², А.В. Йовбак¹

¹ Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

² АО Харьковский тракторный завод им. Орджоникидзе, Харьков

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ СЛЦ ХТЗ

Песчано-глинистые смеси наиболее распространены в литейном производстве. Они составляют более 70% от общего объема формовочных смесей и используются для изготовления литейных форм и стержней.

Анализ статистических данных в условиях АО ХТЗ показал, что основными видами брака по вине низкого качества формовочной смеси являются газовые раковины, которые составляют 54,7%, обвал формы – 32,6%, песочина – 19,4% от общего количества брака по вине формы и низкого качества смесей.

Целью данной работы является управление свойствами формовочных смесей с помощью различных технологических добавок в условиях автоматизированного производства АО «Харьковский тракторный завод».

В условиях сталелитейного цеха ХТЗ для производства песчано-глинистых форм на автоматических линиях в состав смеси вводят дружковскую огнеупорную глину каолинит-иллитового состава. Она вводится в смесь в виде суспензии. Для улучшения свойств смеси рекомендовано вводить в её состав специальные технологические добавки, улучшающие связующие, пластические и технологические свойства смесей. Такими компонентами являются крахмалит и бентонит.

Бентонит, является эффективным связующим и термопротекторным материалом, главной особенностью которого является химически-кристаллическое строение и наличие на его поверхности ионообменных катионов, что определяет его физические и химические свойства как минерала.

Для борьбы с ужиминами в смесь вводят добавки крахмалита. Крахмалит улучшает пластические свойства смеси, повышает прочность формы в зоне конденсации влаги и поверхностную прочность (снижает осыпаемость). Крахмалит как и бентонит, проявляет свои пластические свойства только после увлажнения и набухания. Крахмалит вводят в количестве до 0,5% .

Для управления свойствами формовочной смеси была разработана математическая модель свойств единой формовочной смеси для стального и чу-

гунного литья в условиях автоматизированного производства СЛЦ ХТЗ. Математическая модель представляет собой систему уравнений, которые показывают влияние на прочность смеси на сжатие, влажность и газопроницаемость смеси, таких переменных как количество бентонита, крахмалита, глинистой суспензии, кварцевого песка и отработанной смеси.

На основе математической модели было определен оптимальный состав песчано-глинистой смеси. Предложен новый состав смеси и разработана номограмма для оперативного управления ее свойствами. Предложены рекомендации для приготовления песчано-глинистой смеси для условий СЛЦ АО «ХТЗ».

УДК 621.74.045

О.И. Пономаренко¹, Д.В. Мариненко¹, И.А. Гримзин², Ю.Б. Витязев²

¹Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г.Харьков.

²Научно-исследовательский центр «ЕвроМет», г.Харьков.

ПОЛУЧЕНИЕ КОРПУСНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК В ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ

Повышение сложности, точности, снижение тонкостенности литых деталей вместе с требованиями минимизации трудовых затрат и эффективной защитой окружающей среды оказывают значительное влияние на развитие технологий производства отливок. В настоящее время получила распространение в мелкосерийном и опытном производстве технология литья алюминиевых сплавов в гипсовые формы [1].

Проектирование модельного комплекта осуществляется в среде SolidWorks. Затем по 3D моделям на станках с ЧПУ изготавливают оснастку, что в свою очередь обеспечивает ее достаточно высокую точность (± 0.01 мм). Материал форм – пластик повышенной плотности (обеспечивает необходимую гладкость поверхности и выдерживает значительное количество циклов). Для получения силиконовой модели также производят пластиковую оснастку, которую заполняют жидким силиконом, а затем выгонят весь воздух в вакуумной камере для получения максимальной плотности и чистоты поверхности.

Такое сочетание позволяет изготавливать форму без формовочных уклонов и других нарушений геометрии отливки (так как силиконовая модель с легкостью извлекается из затвердевшей гипсовой формы), сводит к минимуму механическую обработку готовой отливки.

Для получения сухой смеси используют гипс марки «портландгипс строительный» (95% от массы сухой смеси), песок кварцевый с глиной (5% от массы сухой смеси). Все это перемешивается в миксере в течении 10-15 мин. Затем для приготовления гипсовой суспензии нужное количество смеси смешивается с водой (в которую заранее добавили 4...5% асбеста) в пропорции 2:1, и перемешивают в миксере в течении 1,5 минут.

Однако при изготовлении гипсовых форм сталкиваются со следующими трудностями: гипсовая суспензия имеет малую живучесть (2-3 минуты); трудно контролировать равномерный состав по всему объему формы; нестабильные свойства гипса как материала, что требует постоянного изменения режимов сушки и параметров заливки.

Для решения данной задачи были приняты следующие меры: для большего удаления влаги из формы и придания равномерных свойств по всему объему им дают 3 дня провялиться в сушилке при комнатной температуре.

Список литературы

1. Кестнер О.Е. Точное литье цветных сплавов в гипсовые и керамические формы. / О.Е. Кестнер, В.К. Барадьянц, Л.А. Лapidовская, О.Б. Лотарева — М: Машиностроение. — 1968г. — 285с.

УДК 621.74

О.И. Пономаренко, М.А. Ступарь, Д.В. Мариненко

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ В УСЛОВИЯХ ПОЛТАВСКОГО ТУРБОМЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Одной из главных задач литейного производства является внедрение про-

грессивных технологий для обеспечения высококачественными отливками машиностроительный комплекс. Проблема выпуска качественных отливок, как по плотности, по качеству поверхностей, так и по размерной точности, является постоянным предметом внимания специалистов литейщиков.

Литейная технология позволяет приблизить конфигурацию и размеры отливки к готовой детали полнее, чем другие заготовительные процессы. Специфической особенностью отливок является сложность процессов выполнения их четкой конфигурации, а особенно, получение размеров высокой точности с заданной шероховатостью поверхности и плотной структурой.

Качество литейной продукции существенно зависит от технологической оснастки, которая используется при изготовлении песчаных и металлических форм. Даже в простейшем случае размер отливки определяется цепью: среда - форма – отливка, на каждое звено которой влияет множество различных факторов. Создание высокотехнологичной и долговечной литейной оснастки особенно важно в сжатые сроки. Ее качество закладывается уже на стадии проектирования.

Основным материалом для изготовления модельных комплектов является дерево. По деревянным моделям получают 3/5 всего литья.

Поэтому, разработка новых технологических процессов получения высокотехнологичной литейной оснастки – одного из основных факторов, влияющего на получение качественных отливок, на основе применения компьютерно-интегрированных технологий является одной из актуальных задач литейного производства.

Целью работы является проектирование и изготовление модельной оснастки для отливки «Корпус промежуточный», изготавливаемой из СЧ20 ГОСТ 1412-85 литьем в песчаные формы с применением компьютерно-интегрированных технологий.

В процессе выполнения работы использовались пакет программ SolidWorks, для создания 3D-модели детали, отливки и оснастки. Программный продукт AlphaCAM был использован для создания управляющей программы изготовления деревянной оснастки на станке с ЧПУ модели AGRO 5A производства компании Greda (Италия). Применение такого оборудования дает возможность получения отливки с высоким качеством поверхности и точными геометрическими размерами при минимальных затратах.

С.В. Порожня

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОГИДРООЧИСТКИ НА ОЧИСТКУ ЛИТЬЯ И РАЗРУШЕНИЕ СМЕСИ

Особо трудоёмкой является очистка сложных по конфигурации отливок, которые имеют большое количество рёбер и отверстий, тонкостенных отливок с большим количеством переходов между поверхностями. Учитывая широкое распространение электроимпульсных технологий в технологических процессах, нужно отметить актуальность их применения для обработки литья и его очистки от пригара и смеси [1].

Целью работы является исследование влияния рабочих параметров электроразрядного узла установки на разрушение смеси и пригара для получения чистой поверхности отливок.

Исследовали действия ударной волны на отделение корки пригара от отливки и разрушение смеси за основу приняты работы, и экспериментальные данные по действию ударной волны на разрушение отработанных комьев смеси, поступающих в отходы [2]. В качестве исходных формул использовались известные по ряду работ [3] зависимости давления $P(x)$ на фронте ударной волны от расстояния от оси плазменного канала в экваториальной плоскости и параметров разрядной цепи. Результаты обобщения расчетов проиллюстрированы в графиках [4]. Кривые графиков свидетельствуют о существовании при каждом значении энергии E (Дж) оптимальной величины напряжения U_{opt} , при котором величина объема разрушаемой смеси $V(m^3)$ максимальна. Увеличение E сопровождается ростом U_{opt} . При оптимальном значении напряжения будет достигаться минимальная удельная электроёмкость процесса $q=E/V$. В целом изменение величины q в диапазоне энергий 100–10000 Дж – незначительное (2–3-х кратное), однако сохраняется тенденция роста q с увеличением E .

Исследовали степень очистки отливок разных типов при соответствующих составах формовочной смеси и составили классификатор типовых отливок. Для определения зависимости объёмов разрушаемой смеси от напряжения зарядки воспользуемся методикой Григорьева А. Л. Проанализировав графики зависимости $V=f(U)$ нашли оптимальные значения напряжения зарядки накопи-

теля при разрушении объёмов смеси, соответствующих количеству смеси на типовых отливках. В результате проведенных экспериментов по электроимпульсному дроблению холоднотвердеющей и пластичной самотвердеющей смеси получены адекватные регрессионные уравнения, которые изложены в работах Григорьева А. Л. и Нагель Ю. А. Согласно данным уравнениям, описывающим изменение удельной производительности электроимпульсного дробления для смесей различных составов, были построены соответствующие графики. Анализ регрессионных уравнений и зависимостей позволил установить, что оптимальная частота посылки импульсов на один электрод составляет 6–8 имп/с и ограничивается газовыделением в зоне образования канала разряда. В результате проведенных исследований установлено, что при выборе уровня напряжения высоковольтного импульса следует ориентироваться на средние пробивные градиенты $E_{пр} = 9,5–15$ кВ/мм. Для реализации электроимпульсного способа необходимо использовать импульсы со скоростью нарастания напряжения не менее 400 кВ/мкс.

Таким образом, были проведены исследования, которые позволяют рассматривать очистку отливок в электрогидравлических установках как перспективный и эффективный метод, способный уменьшить трудоёмкость и ручной труд в процессе очистки отливок. Разработаны рекомендации по усовершенствованию конструкции установки, которые обеспечат достижению оптимальных рабочих параметров.

Список литературы

1. Валисовский И. В. Пригар на отливках / И. В. Валисовский. – М. : Машиностроение, 1983. – 192 с.
2. Промтов М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : учебное пособие / М. А. Промтов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.
3. Действие мощного импульсного электрического разряда в воде. II. Экспериментальные результаты / Вилков К. В., Григорьев А. Л., Нагель Ю. А., Уварова И. В. // ПЖТФ. – 2004. – Т. 30, Вып. 7.
4. Григорьев А. Л. Формирование ударных волн импульсными электрическими разрядами в воде и исследование их воздействия на преграды /

А. Л. Григорьев. – Москва: ФГУП «Исследовательский центр имени М. В. Келдыша», 2007. – 150 с.

УДК 669-154

А.Г. Пригунова¹, С.С. Петров²

¹Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
Киев;

²Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОЦЕНКА РАЗМЕРА КЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ В РАСПЛАВАХ СИЛУМИНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕДИМЕНТАЦИИ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Известен метод определения размера кластеров Si в расплавах силуминов при седиментации их в поле центробежных сил. Однако он обладает принципиальным недостатком - необходимостью достижения равновесных условий, определяемых скомпенсированностью диффузионного и седиментационного потоков. Время достижения равновесия, как и другие параметры диффузионной задачи, могут быть определены только на основании решения нестационарной задачи седиментации. Решить его стандартными методами математического анализа не представляется возможным. Поэтому решение осуществляли двумя различными методами. Для прямоугольной системы координат получено нелинейное уравнение седиментации расплава путем подчинения полного диффузионного потока условию непрерывности:

$$\frac{\partial u}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - S(x+n) \frac{\partial u}{\partial x} - Su \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = S(x+n)u \Big|_{\substack{x=0 \\ x=1}}; \quad u(x) \Big|_{F_0=0} = 1 \quad (2)$$

$$u = \frac{C_V}{C_{V_0}}; \quad S = \beta \frac{V(\rho - \rho_0)}{kT} \omega^2 N_2^2; \quad F_2 = \frac{D\tau}{N_2^2}; \quad x = \frac{X}{N_2}; \quad n = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

C_{V_0} , C_V - начальное и текущее значение объёмной концентрации; V - объём кластеров; ρ , ρ_0 - плотности кластеров и среды; ω - угловая скорость; β - доля атомов, принимающая участие в образовании кластеров; k - постоянная Больцмана; D - коэффициент диффузии; τ - время центрифугирования; T - тем-

пература расплава; N_1 - расстояние от внутренней границы вращения расплава до оси вращения; N_2 - расстояние от внешней границы вращения расплава до оси вращения; X - расстояние от внутренней границы вращения расплава до исследуемой точки.

С учётом цилиндрической поверхности реторты с расплавом использовано уравнение диффузии в подвижной среде, которое имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial F_0} + S \frac{\partial}{\partial x}(xu) = \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = xSu \Big|_{x=1}^{x=n}; \quad u(x) \Big|_{F_0=0} = 1 \quad (5)$$

Аналитическое решение уравнения (1) получено методом формального параметра с применением конечных интегральных преобразований. Установлено, что для расчёта размера кластеров достаточным является использование решения нулевого приближения задачи (1):

$$u \approx \sum_{\gamma_1, \gamma_2}^{\infty} \bar{u}_1 \Big|_{F_0=0}^{-0} \bar{K}_{\gamma_1} e^{-F_0 \lambda_{\gamma_1}^2} + \bar{u}_2 \Big|_{F_0=0}^{-0} \bar{K}_{\gamma_2} e^{-F_0 \lambda_{\gamma_2}^2} \quad (6)$$

$$\bar{K}_{\gamma_1} = \left(R_1 + \frac{Sn}{2} \right) e^{r_1 x} - \left(R_2 - \frac{Sn}{2} \right) \cdot e^{r_2 x} \quad (7)$$

$$\bar{K}_{\gamma_2} = e^{\frac{Sn}{2}} \left(R_2 \cos R_2 x + \frac{Sn}{2} \sin R_2 x \right) \quad (8)$$

где $\bar{u}_1 \Big|_{F_0=0}^{-0}$, $\bar{u}_2 \Big|_{F_0=0}^{-0}$; R_1 ; R_2 ; r_1 ; r_2 ; λ_1 ; λ_2 - коэффициенты и собственные числа задачи, определяемые интегральными преобразованиями.

Решение уравнения (3) вблизи внутренней границы получено методом интегральной кривой Pohlhausen и Hills. Изменение концентрации по толщине расплава, заданное в виде параболы:

$$u = \alpha_0 + \alpha_1 x^2; \quad n < x < x_0; \quad u \Big|_{x=0} = 1, \quad x_0 \Big|_{F_0=0} = n, \quad (9)$$

описывается трансцендентным уравнением:

$$u \Big|_{x=n} = \left[\left(\frac{\left(Sn^2 - \frac{5}{2} \right) \frac{u}{n} + \frac{3}{2}}{Sn^2 - 1} \right)^{K_1} \exp(-3SF_0) \right]; \quad K_1 = 1 + \frac{3}{5 - 2Sn^2} \quad (10)$$

На основании расчётных концентрационных характеристик $u=f(S)$ и экспериментальных результатов по перераспределению Si в расплаве в зави-

симости от условий проведения опытов (ω , C_{V_0} , T) определяли параметр S , связанный с d_{Si} соотношением:

$$d_{Si} = \sqrt{\frac{6kTS}{\beta\pi\omega^2(\rho - \rho_0)N_2^2}}, \quad (11)$$

Выражение (1) позволяет рассчитывать размеры кластеров, не зависимо от степени достижения в системе условий равновесия. Результаты приведены в таблице.

Размер кластеров кремния в алюминиево-кремниевых расплавах, нм

Сплав	Температура, °C				
	60 0	650	750	85 0	10 50
Al – 6,5 % Si	-	35	30	23	16
Al – 12,5 % Si	20	17	14	12	7

Данные о размерах кластеров Si хорошо согласуются с результатами, полученными методом высокоскоростного охлаждения ($V_{охл.} > 10^5$ °C/с) из жидкого состояния.

УДК 621.74, 620.179.1.05–2

И.В. Рафальский

Белорусский национальный технический университет, Минск

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Совершенствование металлургических процессов производства литых изделий из сплавов черных и цветных металлов сопровождается значительным увеличением объемов и сложности потоков данных, подлежащих непрерывному контролю. Решение этой задачи требует применения методов и средств оперативной обработки информации, позволяющих максимально снизить риски появления ошибок, связанных с управлением технологическими процессами.

Основой качественного изменения процессов автоматизации контроля и управления технических объектов в металлургическом производстве является применение интеллектуальных информационных систем и технологий (ИИСТ). Благодаря успехам, достигнутым в последние годы в области разработки программно-аппаратных, в том числе микропроцессорных средств измерений и контроля, точность и возможности автоматизированных комплексов, связанных со сбором информации, ее обработкой и хранением, значительно возросли. Следующим важным шагом в развитии автоматизированных систем контроля и управления металлургическими процессами является использование методов и средств интеллектуальной обработки данных, программная реализация ИИСТ и их адаптация к условиям конкретного производства.

На основе нейро-нечеткой модели идентификации, представленной в работе [1], выполнена разработка тестовой адаптивной информационной системы для неразрушающего контроля и принятия решений с использованием методов, применяемых при мониторинге за состоянием технологического процесса приготовления сплава в плавильной печи и получения из него литых изделий – термического и акустического анализов технологических проб, результаты которых использовались в качестве входных параметров модели идентификации. Использование указанных методов анализа обеспечивает возможность проведения мониторинга за состоянием процессов получения литых изделий с соблюдением требований активного неразрушающего контроля, при котором не только не должна быть нарушена целостность готовой продукции, но и обеспечена возможность принятия оптимизирующих управленческих решений в процессе производства изделий. Хранение информационных массивов организовано с использованием информационного ресурса – банка данных свойств (параметров) образцов литейных сплавов и литых изделий, управление которым организовано с помощью средств удаленного доступа (Интернет-соединения) пользователя.

Алгоритмы обработки данных термического анализа и их программная реализация разрабатывались таким образом, чтобы обеспечить возможность по результатам измерений выполнять автоматический расчет параметров двухфазной зоны в интервале кристаллизации различных сплавов, широко используемых в промышленности при производстве литых изделий. Учет таких данных крайне важен для получения адекватных выводов при моделировании процессов формирования литых изделий с использованием численных методов

расчета в современных системах имитационного компьютерного моделирования [2].

Опытная апробация разработанных компонентов программного обеспечения, проведенная для оценки степени модифицирования поршневого сплава АК12М2МгН после модифицирующей обработки, показала, что алгоритмы и программные средства, реализующие модель нейро-нечетких вычислений с использованием данных термического и акустического анализов, могут использоваться для адаптивного контроля металлургических процессов получения литых изделий, автоматизированной диагностики и компьютерного моделирования процессов литья, анализа данных и принятия решений при производстве литых изделий.

Список литературы

1. Synthesis and analysis of classifiers based on the generalized identification model / M.Tatur, D.Adzinets, M. Lukashevich, S.Bairak // *Advances in Intelligent and Soft Computing*. Springer, – 2010. – Vol.71. – P.529-536.

2. Программный комплекс для расчета объемной доли твердой фазы, выделяющейся при затвердевании литейных сплавов / И.В.Рафальский [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Мн,: БНТУ. – 2014. – Вып.35. – С.90-95

УДК 621.74.045

С.И. Репях, М.О. Матвеева, Б.В. Климович, А.В. Кисенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ПРОЧНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОГО ЧУГУНА

В числе особенностей высокомарганцовистого чугуна, как конструкционного материала, высокая сопротивляемость истиранию, что резко усложняет и удорожает процесс механической обработки отливок резанием. В этой связи отливки из высокомарганцовистого чугуна массой до 50 кг, требующие относи-

тельно высокой чистоты поверхности, точности размеров, массы и формы, целесообразно изготавливать методом прецизионного литья – литья по выплавляемым моделям.

Применительно к марганцовистым чугунам, основными недостатками кварцевых оболочковых форм (КО) являются их относительно невысокая термостойкость, огнеупорность, точность формы и чистота поверхности.

В этой связи рассмотрим факторы, предопределяющие основные свойства КО, из которых приоритетными является термостойкость и прочность. То есть, КО должна выдерживать перепад температур в 1300 °С и обладать прочностью в сыром и прокалённом состоянии не менее 5,0 МПа.

Оценивая прочность КО разделяют прочность в сыром и прокалённом состоянии (при комнатной температуре или при температуре прокаливания). При этом сырая прочность предопределяет уровень манипуляционной прочности КО, а прочность предварительно прокалённой КО – прочность при её заливке расплавом. К числу факторов, предопределяющих прочность КО, относятся: режим и условия сушки КО; состав огнеупорной суспензии для второго и последующих слоёв.

Влияние данных факторов исследовали для кварцевой керамической оболочки, изготавливаемой на основе натриевого жидкого стекла. Огнеупорные слои испытуемых КО формировали на стеклянных пластинах с размерами 2×100×150 мм. Определение массы осуществляли путём взвешивания испытуемых образцов с точностью 0,01 г. Сушку слоёв осуществляли в потоке тёплого воздуха с температурой 32 ± 1 °С, скорости движения до 0,1 м/с и относительной влажности 65 ± 1 %. Для обсыпки первого слоя КО использовали кварцевый песок с преимущественным размером песчинок 0,16 мм, для 2 ... 4-го слоёв – с преимущественным размером частиц 0,315 мм.

На первом этапе исследований определили влияние скорости потока воздуха в камере сушки КО на сырую прочность образцов: при длительности сушки первого слоя 1 ч, второго слоя – 4 ч, третьего и четвёртого слоёв – 16 ч. Сушку проводили на воздухе при температуре 28 ... 30 °С.

Из результатов определения предела сырой прочности КО при статическом изгибе следует, что прочность сырой КО мало зависит от относительной влажности воздуха и в основном определяется скоростью его движения в камере сушки. При этом, сушку КО при скорости движения воздуха менее $w = 1$ м/с нецелесообразно.

Предельно допустимое содержание глины в пылевидном кварце, приводящее к разрушению прокалённой при 950 ± 20 °С кварцевой КО в процессе её охлаждения на воздухе составляет 0,10 ... 0,12 % по массе.

Данная закономерность изменения прочности от скорости воздуха в камере сушки объясняется тем, что с уменьшением интенсивности сушки (снижением скорости движения воздуха) повышается степень капиллярно-диффузионного массопереноса жидкого стекла из внутренних слоёв КО к её поверхности, то есть повышается концентрационная анизотропия

В связи с этим, в последующих исследованиях сушку жидкостекольных КО проводили в потоке воздуха, движущегося со скоростью 2,2 ... 2,5 м/с.

Список литературы

1. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

УДК 621.742.22

Ю.А. Свинороев

Южнороссийский государственный политехнический университет имени
М.И. Платова, г. Новочеркасск

ОБ УТОЧНЕНИИ ТОЛКОВАНИЯ ПОНЯТИЯ: «СОВРЕМЕННЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ»

Доминирование технологических процессов литья в разовые песчаные формы, определяет главенствующую роль и значимость литейных связующих материалов в качественном осуществлении процессов формообразования, а значит и получения в конечном итоге годной отливки. Оценивая номенклатуру и объемы используемых, в настоящее время, связующих материалов на ли-

тейных предприятиях, обращает на себя внимание значительность доли приходящейся на смоляные связующие с фенольной основой, обеспечивающие все многообразие ХТС – процессов.

Рассмотрим современный контекст термина «современные связующие материалы». Анализ литературных источников, содержание дискуссий на всевозможных научных форумах позволяет определить основные черты присущие связующему, которое мы можем охарактеризовать термином «современное».

Во-первых, это универсальная технологичность – способность получать любую, сколь угодно сложную по конструкции отливку из любых сплавов, при использовании данного связующего материала на заданном технологическом оборудовании. При этом, простота использования данного связующего материала обеспечивается именно применением соответствующего вида оборудования, т.е. его наличие автоматически гарантирует всю сложную совокупность процессов формообразования: от приготовления смеси, формовки стержня, до конечного получения отливки. Под свойства связующего подстраивается оборудование, а далее разнообразными регламентами ограничиваются или сужаются возможности перехода на применение других видов связующих материалов.

Во-вторых, можно выделить некие общие черты, тенденции развития:

- это доминирование ХТС – процессов, становится общепринятым тезис: «мы ушли от процессов сушки», причем он произносится в контексте «успешности» общего технологического решения, хотя во многих случаях «капсулизирующаяся» в процессе холодного твердения влага является причиной сетевидной пористости и газовых раковин, во многом именно этот фактор предопределяет острую потребность в покраске стержней полученных по ХТС-процессам;

- ужесточение требований к системам регенерации смеси, жесткие регламенты ее проведения, например не допускается или настойчиво не рекомендуется, совместное регенерирование смесей получаемых по AlpHaset – процессу и жидкому стеклу;

- предъявление особых требований к наполнителю, при использовании отдельных связующих систем, причем не всегда это является оправданным. Например: «прочностные показатели не удовлетворительны из-за того что форма зерна наполнителя требуем «звездообразную форму». На вопрос где взять такой наполнитель, звучит ответ: «покупайте у нас!».

В третьих, традиционные показатели качества процессов смесеприготовления и формообразования, например прочности, во всем многообразии ее проявлений, влажности, газопроницаемости, текучести, формуемости, осыпаемости, податливости и т.п., обеспечиваются самим фактом наличия соответствующего оборудования, а потому как бы уходят на второй план, трансформируясь в некие внутренние параметры системы. Зачастую индикаторами качества выступают некие интегральные показатели, например такие как «уплотняемость», для амин-процесса.

В четвертых, развитие информационных технологий привело к возможности контроля работы оборудования из единого сервисного центра в онлайн режиме. Например, завод находится в Таганроге, а контроль работы его оборудования происходит из офиса фирмы поставщика в Москве. Это обуславливает необходимость полноты информации о применяемом связующем материале, с возможностью выдачи моментальной рекомендации, в «онлайн режиме» в случае каких либо сбоев в производстве по его причине.

Таким образом, в применяемом понятии «современные связующие материалы» появляются новые содержательные смыслы, то что главенствовало еще 30 лет назад уходит, для производителя литья, на второй план, передается в аутсорсинг. Подход «технология под ключ» меняет смысловые оттенки, казалось бы, раз и навсегда установившихся категорий.

УДК 621.742

Ю.А. Свинороев, Р. Бэр, Ю.И. Гутько

Южнороссийский государственный политехнический университет имени М.И.

Платова,г. Новочеркасск

Магдебургский университет имени Отто – фон – Гюрике, Магдебург

АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СВЯЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

С функциональной точки зрения связующий материал обеспечивает прочность формирующегося литейного стержня или формы. Это достигается специфическими особенностями связующих – способностью затвердевать, при определенных условиях, и образовывать не разъемные соединения между

скрепляемыми однородными или разнородными материалами (частичками наполнителя).

Процесс формирования прочностных свойств, является следствием сложных полимеризационных или поликонденсационных физико-химических процессов протекающих в следствии создания благоприятных для их осуществления условий, обеспечивающих изменение агрегатного состояния системы в целом (переход из жидкого во вязко-пластичное, а затем в твердое состояние) . Степень полноты их протекания будут определять прочностные характеристики связующего материала. В этом контексте, связующее выступает как сложная система взаимосвязанных элементов. Её основой являются полимерная матрица, т.е. вещества, как компоненты, физически выполняющие функции скрепляющего материала, которые рассредоточены на момент начала процесса отверждения в растворителе. Но для оптимального формирования прочностных свойств литейного стержня или формы требуется инициирование полимеризационных процессов, их поддержание и ускорение, а в некоторых случаях придание специальных свойств, определяемых спецификой литейной технологии.

Современный идеальный связующий материал, с материаловедческой точки зрения, можно представить как многокомпонентную систему элементов включающую:

- полимерную основу,
- растворитель,
- отвердитель,
- катализатор,
- наполнитель,
- специальные добавки.

Взаимодействие этих элементов должно обеспечивать оптимальные прочностные свойства, управляемую скорость отверждения, высокую технологичность на этапах процесса производства (пластичность, текучесть, формуемость, уплотняемость и др.), облегченную выбиваемость, регенерируемость отработанных смесей и экологичность процесса в целом.

В сложившихся условиях, тотального доминирования на современном рынке связующих материалов смоляных связующих на фенольной основе, с одной стороны, и острая необходимость в их замене по энологическим причинам с другой, требует активенного поиска альтернативных решений. С этой точ-

ки зрення лигносульфонатные материалы (ЛСТ) можно рассматривать как одну из таких альтернатив. По нынешнему состоянию промышленных поставок, ЛСТ, как технический объект, есть сложный полидисперсный водный раствор, представляющий собой комплекс олигомерных цепей лигносульфоновых кислот различной длины, характеризующийся широким диапазоном значений молекулярно-массового распределения. Такое состояние является следствием процессов сложной многостадийной технологии делигнификации древесины и обуславливает не стабильность свойств ЛСТ.

Для стабилизации свойств целесообразно проводить предварительную обработку ЛСТ направленную на гомогенизацию их полидисперсной структуры. Для этого была предложена методика модифицирования ЛСТ неионогенными поверхностно-активными веществами, в результате, за счет процесса мицеллообразования, проходило структурирование связующего, выравнивание молекулярно-массового распределения и как следствие стабилизация свойств.

Такая обработка привела к решению задачи стабилизации свойств ЛСТ и повышения его связующей способности. Полученные результаты характеризуют качественно иной уровень связующей способности образующейся композиции – 0,5 МПа/%. Это констатирует факт создания нового связующего материала на основе ЛСТ.

УДК 621.746.6

В. Ю. Селівьорстов, Т. В. Селівьорстова, Ю. В. Доценко

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИКА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА РОЗПЛАВ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

Необхідним конструктивним елементом конструкції пристрою для введення газу для реалізації технологічного процесу газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі є герметизуючий холодильник [1 - 3].

Процес герметизації є найбільш ефективним в тому випадку, якщо на момент подачі газу в систему виливок - пристрій для введення газу на внутрішній поверхні холодильника, що закриває дзеркало металу, намерзає мінімальна його кількість. Разом з тим, час твердіння розплаву в зазорі між холодильником і бічною поверхнею робочої порожнини ливарної форми повинен бути мінімальним. Особливістю конструкції холодильників (що виготовляються, зазвичай, з того ж матеріалу, що і виливок) є наявність або відсутність вставки із теплоізоляційного матеріалу (рис. 1).

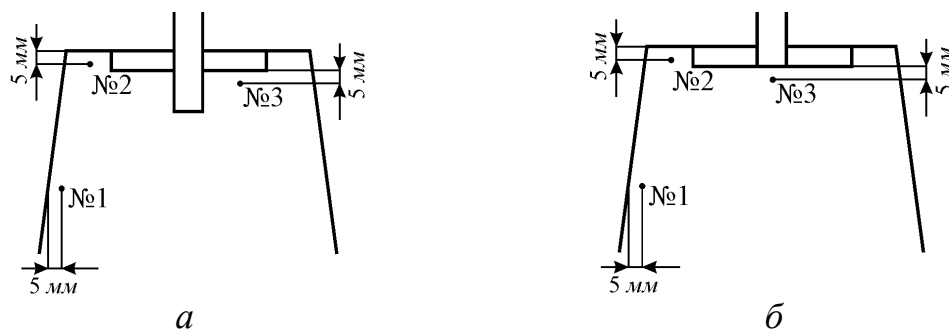


Рис. 1. Схема цільнометалевого холодильника (а), корпусного холодильника з утеплювальною вставкою (б) та розташування термодатчиків №№ 1 – 3

Результати розрахунків, проведених за допомогою системи комп'ютерного моделювання ливаних процесів «Полігон» для виливків із сталей 35Л та Х18Ф1Л, що твердіють в умовах тієї ж ливарної форми, процес твердіння в якій досліджувався раніше термоелектричним методом, показали, що при використанні цільнометалевого холодильника спостерігається мінімальний розрив між кривими охолодження на рівні температури солідус. Це свідчить про несприятливе протікання процесу твердіння, на відміну від використання комбінованого холодильника більшого діаметру з утеплювачем (рис. 2). Встановлено збільшення часу твердіння розплаву безпосередньо під холодильником у разі використання утеплювача з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Це дозволяє не тільки знизити непродуктивні втрати металу із-за намерзання на поверхні холодильника, але і поліпшити режим живлення при твердінні виливка і здійсненні газодинамічного впливу.

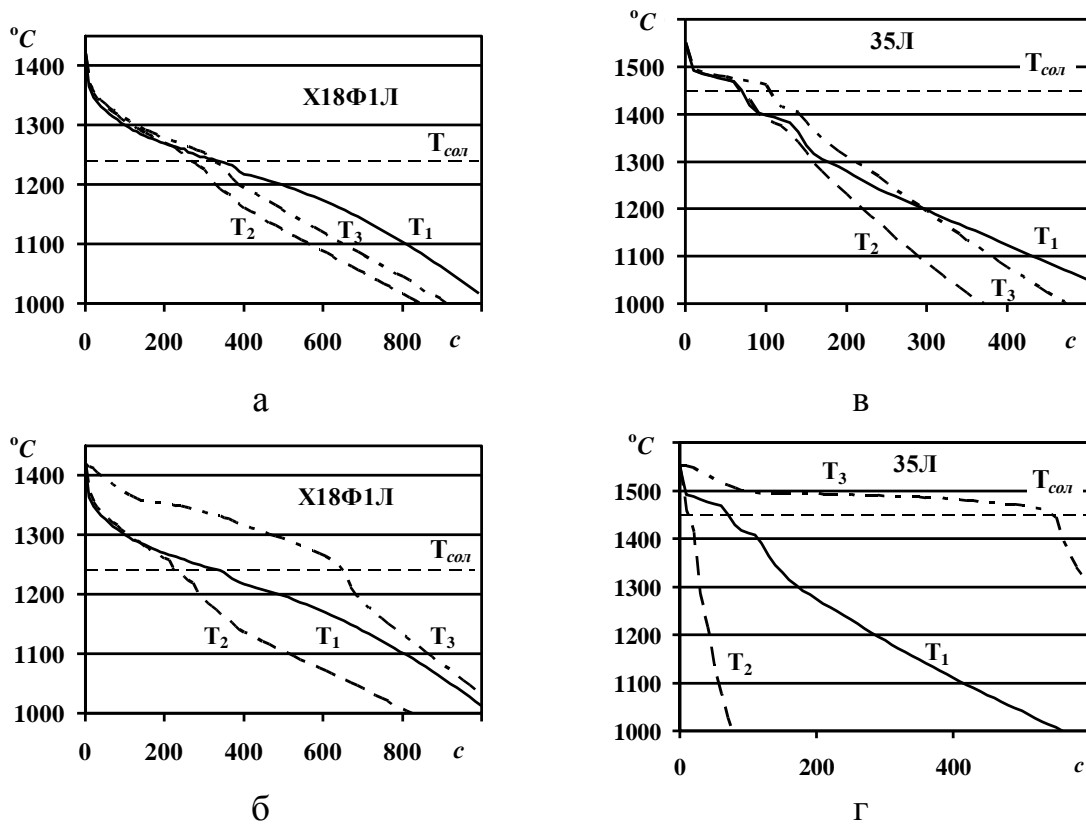


Рис. 2. Результати розрахунку процесу твердіння виливків з зовнішнім цілнометалевим (а, в) і комбінованим (б, г) холодильником з утеплювачем в місцях розташування термопар №№ 1 – 3

Список літератури

1. Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок // 3б. Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.
2. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) В22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селиверстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В.; № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
3. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) В22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селиверстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меньяло О.В., Савега Д.О.; № 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23.

УДК621.762:66.084:533.9:546.26

Р. А. Сергієнко¹, А. М. Верховлюк¹, Г. А. Гранкін², С. О. Лапшин²,

А. В. Поліщук²

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

²Національний університет біоресурсів та природокористування України, м. Київ,

Тел./факс.: 0444529736, e-mail: rslan17@gmail.com

ОТРИМАННЯ НАНОЧАСТОК КАРБІДІВ ВОЛЬФРАМУ ТА ТИТАНУ ПЛАЗМОВИМ РОЗРЯДОМ

Розроблено технологічні режими отримання карбідів титану TiC та високотемпературних карбідів вольфраму з кубічною WC_{1-x} і гексагональною W₂C структурами методом плазмового розряду в ультразвуковому кавітаційному полі органічної рідини. Низьковольтний плазмовий розряд між електродами ініціювався в органічній рідині (етиловий спирт або бензол) завдяки збільшенню електричної провідності рідини в ультразвуковому полі. Ультразвуковий генератор (Nissei, US-600NCVP) потужністю 600 Вт і титановий акустичний хвилевід діаметром 18 мм, який працював на частоті ультразвукових коливань 20 кГц, використовували в експериментах з органічною рідиною. Напруга на електродах підтримувалась 55 В, а верхня межа струму була встановлена на рівні 1,58 А за допомогою регульованого джерела живлення (PAS 60-18, Kikusui Electronics Corp. Japan). Експеримент продовжувався одну годину. При відключенні ультразвукового генератора плазмовий розряд із малою електричною потужністю (55 В×1,58 А = 86,9 Вт) не спостерігався. Під час випаровування титанового або вольфрамового аноду і розкладання органічної рідини в плазмовому розряді утворювались частинки карбідів титану або вольфраму, які гартувались в рідкому середовищі. Результати дослідження частинок за допомогою електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу показали, що формування карбідів титану TiC та нестабільних високотемпературних карбідів вольфраму WC_{1-x} і W₂C відбувається в процесі гартування наночастинок в рідині. При нагріві до температури 1173 К, а потім охолодженні нестабільних фаз WC_{1-x} і W₂C в атмосфері аргону вони трансформуються в стабільний карбід вольфраму WC.

Високороздільні зображення, які було отримано за допомогою просвічувального електронного мікроскопу, дозволили виявити вуглецеві оболонки, які мають графітову структуру, навколо карбідних ядер (рис.1). Виявлено, що число покривних графенових шарів суттєво залежить від розміру частинок. Деякі вуглецеві нанокapsули діаметром понад 230 нм після відпалювання були по-

криті графітовими оболонками з товщиною до 40 нм. Маленькі агломеровані ядра карбідів вольфраму розміром менше 15 нм були ізольовані між собою декількома графітовими шарами.

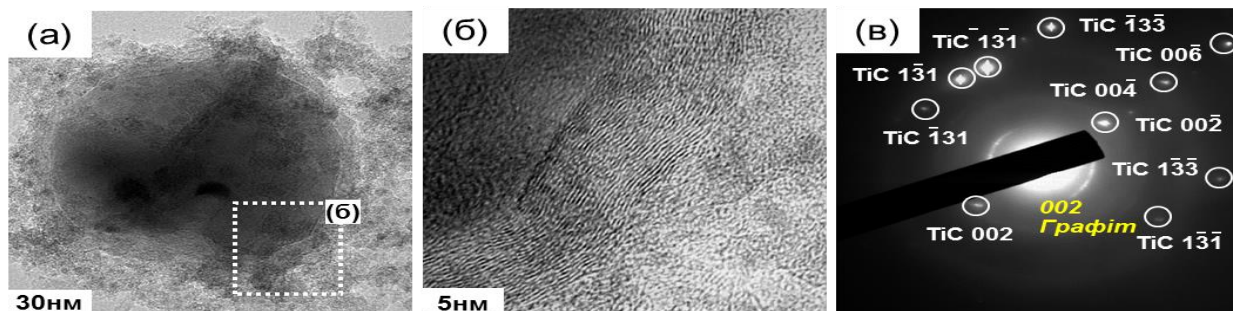


Рис. 1 (а), (б) Електронна мікрофотографія нанокapsули з TiC ядром, вкритим вуглецевою оболонкою; (в) електронна дифрактограма частинки, яка зображена на мікрофотографії (а).

Можна передбачити, що графітові елементи, які покривають карбідні наночастинки, будуть виступати твердим мастилом, а ядра вуглецевих нанокapsул високотвердою армуючою фазою в композиційних матеріалах, а сам матеріал мати високу зносостійкість [1]. Вуглецеві нанокapsули з карбідними ядрами можуть бути використані в якості модифікуючих добавок для алюмінієвих сплавів. Можна припустити, що карбіди TiC, WC_{1-x} повинні ефективно подрібнювати зерно алюмінієвих сплавів. Параметри решітки WC_{1-x} (a = 4,235 Å), TiC (a = 4,327 Å) близькі до параметру решітки алюмінію (a = 4,049 Å). Гексагональний карбід вольфраму WC, як модифікатор малоефективний, але ця модифікація вольфраму широко використовується в промисловості [2].

Список літератури

1. Сергієнко Р. А., Верховлюк А. М. Наночастинки карбідів вольфраму – перспективний матеріал для модифікування і армування // *Металознавство та обробка металів.* – 2013. – № 4. – С. 51-58.
2. Yoshinobu N. Influence of carbides on the properties of aluminum and its alloys. Effects of TiC, TiC-WC, TaC-WC and WC on refining of the grain size of pure aluminum. // *J. Jap. Inst. Light Metals* – 1967. – Vol. 17. – № 2. – P. 65–75.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

В. А. Середенко, Е. В. Середенко

ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРЫ СЛИТКОВ ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Качество металлических сплавов определяется не только шихтовыми материалами – первичными они являются или вторичными, а и технологией производства материала. Неоднородность структуры исходных материалов может сохраняться в конечном продукте, вызывая колебания эксплуатационных характеристик, что повышает долю брака. Эффективным методом управления структурой литейных сплавов является направленная подготовка к кристаллизации путём термовременной обработки расплава. По литературным данным наиболее благоприятное сочетание прочностных и пластических свойств алюминиевых сплавов достигается при перегреве расплава до 900 – 1000 °С. При охлаждении расплава, значительно перегретого над температурой кристаллизации даже при скоростях охлаждения, характерных для обычных способов литья (порядка $1 \cdot 10^0$ - $1 \cdot 10^1$ °С/с), вследствие значительного перепада температуры между металлом и окружающей средой в объёме сплава возникают разные условия охлаждения, что приводит к формированию неоднородной структуры литой заготовки. Известно, что постоянное магнитное поле с индукцией B порядка $1 \cdot 10^{-1}$ Тл модифицирует структуру сплавов, в том числе алюминиевых, тем существеннее, чем выше температурный градиент в объёме расплава. Особенно эффективно магнитное поле влияет на железосодержащие фазы, изменяя их количество, форму и концентрацию компонентов в них. В настоящее время сплавы алюминия с повышенным содержанием железа (0,2 – 3,0 %) рассматриваются как перспективные электротехнические, коррозионностойкие конструкционные и акустодемпфирующие материалы.

Целью данной работы являлось увеличение однородности макро- и микроструктуры слитков проводникового сплава алюминия типа АВЕ с содержанием Fe и Si по $\sim 1,0$ %. Образцы сплава были получены из использованной проволоки, переплавленной в печи сопротивления при температуре 950 °С. Металл охлаждался со скоростью $\sim 1 \cdot 10^0$ °С/с, без и под воздействием постоянного магнитного поля с $B = 0,1$ Тл на охлаждающийся и затвердевающий расплав.

Анализ макроструктуры слитков, разрезанных в продольном направлении, полированных и травленных показал, что можно выделить 2 зоны, отличающиеся по структуре: зона 1 – периферийная, 2 – центральная. Периферийная зона охватывала всю центральную зону слитка. При микроскопическом анализе структуры выявлено, что зона 1 состояла из зёрен α -твёрдого раствора Al и включений α (AlFeSi)-фазы скелетообразного вида. Зона 2 представляла собой компактные включения β (AlFeSi)-фазы на фоне Al основы. При $B = 0$ Тл (контрольный металл) толщина зоны 1 составляла $\frac{1}{2}$ радиуса слитка, зоны 2 – соответственно радиус. При $B = 0,1$ Тл толщина зоны 1 сузилась вдвое, а зона 2 соответственно расширилась, но при этом в микроструктуре зоны 1 наряду с α (AlFeSi)-фазой присутствовали включения β (AlFeSi)-фазы, их число было в $\sim 2 - 3$ раза меньше, чем в зоне 2. При этом количество α (AlFeSi)-фазы снизилось, что выражалось в уменьшении объёма межзёренных пространств в 2 раза по сравнению с контрольным металлом. Таким образом, постоянное магнитное поле способствовало увеличению однородности структуры слитка в области наибольшего градиента температур – в зоне 1. Вероятно, при продвижении фронта закристаллизовавшегося сплава, переохлаждённого по отношению к примыкающему к нему расплаву, возникший вследствие термо-ЭДС электроток (эффект Зеебека) при взаимодействии с внешним магнитным полем вызывал микротечения расплава. Такие течения способствовали выравниванию температуры в объёме слитка и как следствие возникновению вместо α фазы – включений β фазы с температурой образования на 17 °С меньшей. Для формирования β фазы необходимо на ~ 5 % больше Si и меньше Fe, чем для α фазы. Вероятно, под действием поля часть Si необходимая для построения β фазы поступила из α -твёрдого раствора Al. Одна часть избыточного Fe под воздействием поля растворилась α -твёрдом растворе Al, (на это указывали проведенные ранее исследования авторов, представленные в печати). Остальное Fe растворилась в β фазе. Об этом свидетельствовало изменение формы включений – их незначительное удлинение. Для компактирования формы β фазы необходимо чёткое соотношение железа и элемента-модификатора. Очевидно, при избытке Fe во включениях данное соотношение нарушалось. В результате установлено, что магнитное поле повышает однородность структуры литого металла и это перспективно для получения качественной проволоки.

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, С. Г. Голубчик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**СТРУКТУРА ЗАТВЕРДЕВШЕГО В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ
В ГРАФИТОВОМ КОКИЛЕ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА И ЕГО ВКЛЮЧЕНИЯ,
ЭМУЛЬГИРОВАННОГО В РАСПЛАВЕ МЕДИ**

С целью влияния на структуру и свойства сплавов в металлургии и литейном производстве широкое применение находят электромагнитные воздействия. Имеются сведения по влиянию скрещённых электрического и магнитного полей на формирование литой структуры серого чугуна и хрома. Они показывают, что данное воздействие вызывает измельчение структуры металла, подавляет образование столбчатых кристаллов, в частности, у чугуна увеличивает глубину отбелённого слоя. Механизм изменения структуры связывается с возникновением циркуляционного течения расплава вдоль фронта кристаллизации.

Таким образом, электромагнитное воздействие вызывает изменения в структуре аналогичные увеличению скорости охлаждения. Известно, что при воздействии постоянного магнитного поля на малые объёмы металла – капли эмульсии в бинарных монотектических сплавах, седиментировавших в горизонтально направленном магнитном поле, измельчались включения второй фазы. Действие поля связывалось с возникновением магнитодинамического течения в слое матричного расплава, примыкавшего к капле, а так же с индуцированным движением внутри капли.

Вопрос формирования литой структуры хромистого чугуна в постоянном магнитном поле изучен недостаточно. Известно, что действие постоянного магнитного поля влияет на микроструктуру металлических сплавов. Это выражается, в частности, в изменении формы, размера, ориентировки включений в объёме отливки. Механизм действия поля связывается с изменением условий кристаллизации сплава вследствие возникновения микротечений расплава вблизи фронта кристаллизации по причине термоэлектрического эффекта (Зеебека) при взаимодействии термотока с внешним магнитным полем.

Целью данной работы было изучение влияния горизонтального постоянного магнитного поля с индукцией ($B = 0,3$ Тл) на литую структуру хромистого

чугуна с 18 % Cr, 1,4 % C, 1,8 Si %, 0,8 Mn, остальное Fe. Были получены кокильные отливки (скорость охлаждения ~ 30 °C/c) из хромистого чугуна и эмульгированного сплава меди с включениями данного сплава. Для структуры чугуна, полученного без воздействия поля, была характерна призматическая форма карбидов с 4 – 6 гранями. Среди них преобладали пятигранные призмы шириной 40 мкм с соотношением длины к ширине 1 : 4. Количество мелких карбидов (шириной ~ 10 мкм) в слое у поверхности отливки, примыкавшей к стенке кокиля, составляло ~ 10 % от общего количества карбидных включений. В остальной части отливки количество мелких карбидов уменьшалось вдвое.

В результате действия поля углы призм стали сглаженными, увеличилось количество несовершенств формы. Ширина преобладающих включений снизилась до 30 мкм, соотношение длины к ширине составило 1 : 2. Возросло число мелких карбидов до ~ 30 %. Действие поля на структуру было более выражено у боковой поверхности отливки. Таким образом, увеличение переохлаждения способствует усилению микротечений расплава вблизи формирующихся карбидных включений. Применение магнитного поля приводит к измельчению структуры (без увеличения скорости охлаждения), а так же сглаживанию углов карбидов, что благоприятно для повышения механических свойств материала.

В эмульгированных включениях чугуна с размером ~ 30 мкм включения карбидов в основном были ориентированы по направлению теплоотвода. Они представляли собой тонкие призмы шириной до 1 мкм и длиной до 15 мкм. Как и в макроотливке самые длинные включения карбидов располагались в центре включения чугуна. Под воздействием магнитного поля включения карбидов стали компактными, их ширина возросла вдвое. Во включении возросла площадь фазы на его периферии, представлявшей раствор меди в чугуне. Контур включения стали менее чёткими.

Таким образом, при затвердевании эмульгированного включения в магнитном поле, совместное действие магнитодинамических микротечений внутри капли и вокруг неё приводит к изменению характера кристаллизации – от направленной к объёмной. Нечёткость поверхности включения и расширение слоя, с растворённой медью способствует более прочному соединению включения с матрицей сплава.

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТРУКТУРА “ЗАМОРОЖЕННОЙ МИКРОЭМУЛЬСИИ” МЕДНОГО СПЛАВА С МАЛЫМ СОДЕРЖАНИЕМ FeCrC, ВЫПЛАВЛЕННОГО В ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Резервы повышения свойств меди путём легирования на сегодняшний день исчерпывают себя. Одним из направлений повышения стабильности твёрдого матричного раствора и упрочняющих фаз за счёт замедления диффузии является применение сплавов монотектических систем. Улучшение свойств таких сплавов основано на увеличении дисперсности и количества включений путём формирования в жидком сплаве состояния однородной микроэмульсии с размерами включений ~ 1 мкм и меньше. Задача данного исследования - получение микроэмульгированного состояния расплава при специально организованном электромагнитном воздействии, дифференцированно влияющем на фазы добавки при её переходе из твёрдого состояния в жидкое и адресно действующем на фазы в расплаве в период его выдержки.

Особенностью монотектической системы Cu-FeCrC является обширная концентрационная зона несмешивания жидких фаз с практически вертикальным ходом линии бинодали (ограничивающей зону расслоения) сразу от температуры монотектики. В связи с этим, даже при содержании лигатуры в сплаве 5 – 8 % требуется высокая температура плавки сплавов (до 1700 °C), что при охлаждении эмульгированного расплава требует значительного времени для снятия перегрева. Охлаждение эмульсии от такой высокой температуры вызывает развитие процессов роста капель, их коалесценции и седиментации. В результате формируется структура с каплями до 15 мкм и их количеством до $2 \cdot 10^3$ мм² при литье в кокиль. Для предотвращения нежелательных изменений в расплаве в работе было использовано малое количество добавки. Благодаря этому удалось существенно снизить температуру плавки. В процессе получения сплава использованы специально организованные электромагнитные воздействия, направленные на формирование и равномерное распределение капель в расплаве.

Плавки проводилась в индукционной тигельной печи (частота электрического тока 42 кГц). Использовалась медь марки М00. Лигатура FeCrC для вы-

плавки сплавов Cu-FeCrC содержала 16 % мас. хрома, 1,4 % мас. углерода, остальное железо и примеси. Масса вводимой лигатуры составляла 0,7 и 1,0 % от массы сплава. Расплавление меди и перегрев расплава до 1380 °C осуществлялся при удельной мощности ~ 450 Вт/кг. Твердая лигатура в медный расплав вводилась на зеркало металла при удельной мощности ~ 350 Вт/кг. Сплавы разливались в графитовые кокили с внутренним диаметром 15 мм. Скорость охлаждения металла в форме была рассчитана по уравнению Ньютона-Рихмана. С учётом теплопроводности материала литейной формы и величины неровностей на её поверхности значение коэффициента теплоотдачи было принято равным 1630 Вт/(м²·К). Скорость охлаждения сплавов составляла ~ 42 °C/с. Рассчитанные числа Фурье (5,7) и Био (0,07) указывали на условия равномерного отвода тепла во время охлаждения и затвердевания металла. Это способствовало формированию однородной структуры по сечению образцов. Характеристики дисперсных включений в структуре отливок с разным содержанием лигатуры FeCrC, представлены в таблице.

Влияние количества добавки на параметры включений в структуре сплава

Параметры	Количество добавки, % мас.	
	0,7	1,0
Средний размер включений, мкм	0,52 ± 0,04	0,94 ± 0,08
Диапазон размеров включений, мкм	0,30 – 1,80	0,30 – 2,40
Расстояние между включениями, мкм	4,90 ± 0,66	6,22 ± 1,29
Количество включений, мм ⁻²	3,13·10 ⁴	1,14·10 ⁴
% коалесцированных включений	3,7	11,8

Средний размер зерна в отливках составлял 20,52 ± 3,25 мкм. Из таблицы видно, что специально организованные электромагнитные воздействия при снижении количества добавки менее - 1 % обеспечили её рассредоточение в объёме расплава, уменьшение размера эмульгированных включений и за счёт этого существенное повышение их количества. Данное состояние расплава в комплексе с незначительным его перегревом позволило сохранить достигнутые параметры микроэмульгированных капель при формировании литой структуры сплава даже при обычном способе литья. На основе полученных

результатов целесообразно исследование сплавов с ещё меньшим содержанием лигатуры.

УДК 621.746.558.086.4

Н.К. Сигарев, А.П. Еременко, Я. А. Сорока, Д.Д. Кравец
Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ФИЛЬТРА, ВЫПОЛНЕННОГО ИЗ РАФИНИРУЮЩЕГО И ЛЕГИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

При получении высококачественного металла важной технологической операцией является рафинирование расплава, которое обеспечивало бы в полной мере очищение металла от неметаллических включений и газов.

При внепечной обработке металла происходит существенный угар рафинирующих и легирующих реагентов, особенно при вводе их в виде порошка. Угар активных элементов может составлять 30 и более процентов. Ввод добавок в виде кусков удлиняет процесс обработки, снижает коэффициент усвоения, делает его более трудоемким и может привести к загрязнению расплава нерастворившимися остатками реагента. Объединение двух процессов – одновременный ввод легирующего и рафинирующего материала ускорит процесс обработки, снизит тепловые потери и повысит эффективность процесса. Это может быть реализовано за счет выполнения фильтра из рафинирующего и легирующего материала с одновременной продувкой сверху расплава инертным газом.

Цель работы состояла в моделировании процесса комплексной обработки расплава для определения времени всплывания частичек и скорости растворения фильтра и синхронизации этих процессов.

Определение скоростных характеристик потоков расплава возможно посредством применения методов физического моделирования. Моделировали процесс легирования и рафинирования продувкой жидкого металла в ковше инертным газом при помощи погружной фурмы с размещенным на ней растворимым фильтром.

Физическое моделирование осуществляли на прозрачной экспериментальной установке с геометрическими размерами: верхний диаметр - 0,35 м, нижний диаметр - 0,3 м, высота - 0,44 м, которая моделирует литейный ковш. В качестве моделирующей среды использовали воду при температуре 18-25°С. Для продувки моделирующей среды использовали воздух, что подается сквозь погружную фурму с размещенным на ней растворимым фильтром. Фурма устанавливается в центр ковша с возможностью перемещения ее в вертикальной плоскости при помощи механической каретки. Контролируемая подача воздуха осуществлялась от компрессора через ротаметр. Растворимый фильтр изготавливали из карбамида в виде диска диаметрами 200, 250 и 300 мм. Диаметр отверстий в фильтре составлял 4 мм. Неметаллические включения моделировали путем введения в жидкость цветных полистироловых шариков. Фильтр можно перемещать по высоте фурмы в зависимости от задач эксперимента. Полученную картину фиксировали на цифровую видеокамеру и обрабатывали на ПЭВМ.

Исследовали скорость растворения карбамидовых фильтров разных диаметров в моделирующей среде с продувкой газом. При погружении в жидкость карбамид быстро растворяется, образуя на поверхности пленку из материала фильтра. При этом, масса исследуемых фильтров оставалась постоянной, что позволяло получать определенной толщины пленку на поверхности жидкости, которая моделировала образовавшийся в процессе обработки шлак. В процессе обработки карбамид менял плотность моделируемой среды, что приводило к изменению характера поведения полистироловых шариков – изменению вектора и скорости передвижения шариков - всплыванию или их осаждению.

В результате комплекса проведенных исследований определено, что данный фильтр обеспечивает одновременную обработку всего объема жидкости за счет увеличения поверхности контакта реагента и жидкости. Фильтр также обеспечивает образование дополнительных циркуляционных потоков, огибающих его, и отсутствие пробоя ванны, что позволяет увеличивать интенсивность продувки.

Установка на фурме фильтра из легирующего материала для рафинирования расплава позволит повысить эффективность внепечной обработки металлов за счет равномерного рафинирования ванны, уменьшения угара эле-

ментов, интенсификации перемешивания расплава газовыми потоками, дегазации металла, а так же удаление неметаллических включений.

УДК 621.74.04.

І. Е. Скідін, Л. Н. Саїтгарєєв

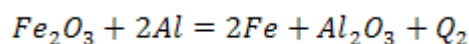
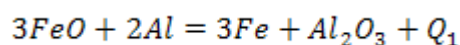
ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг

ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НАПЛАВКОЮ ПРИ ТВЕРДОПЛАМЕННОМУ ГОРІННІ ЛЕГОВАНИХ ПОРОШКІВ

Аналіз способів наплавлення легованих високохромистих матеріалів на металічну основу порошковою стрічкою або проволокою показав, що наплавлення здійснюється, переважно, за допомогою електричного струму або плазмою. Більш перспективною є технологія отримання сплавів із металевих порошків та термітної суміші у результаті високотемпературних екзотермічних реакцій твердопламенного горіння [1].

Для удосконалення цієї технології та зниження собівартості продукції в даній роботі представлений метод наплавлення, який ґрунтується на використанні теплоти від реакції горіння алюмотермічної суміші для розплавлення порошків шихти з легуючими елементами та наплавлення на металеву основу шару з рівнорозподіленою структурою на основі карбїду хрому.

У термітній суміші закладено оксиди FeO и Fe₂O₃, реакції яких мають вигляд:



Тепловий ефект реакцій ($Q_1 = 881,6$ кДж, $Q_2 = 853,8$ кДж) знайдено за законом Гесса: $\Delta Q = \Delta H$, тобто під постійним тиском кількість теплоти дорівнює зміні ентальпії системи. Значення ентальпії для кожної складової бралися з роботи [3].

На рисунку 1 представлена установка для реалізації даного методу наплавлення.

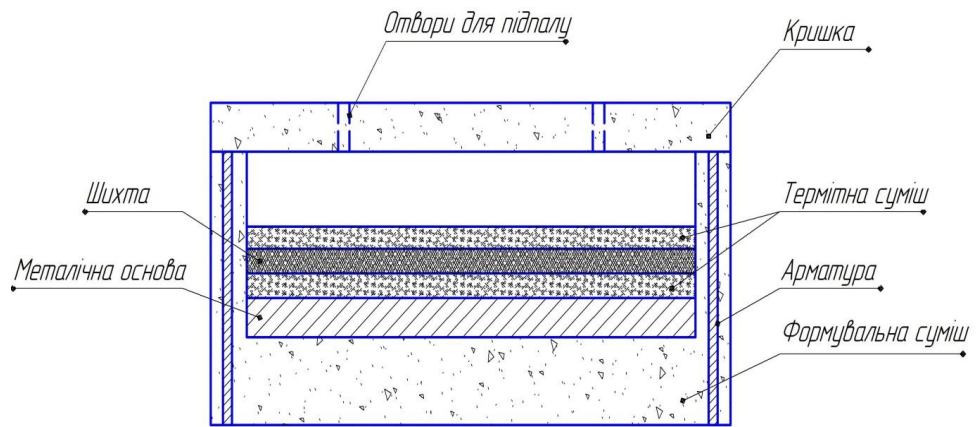


Рисунок 1. Установка отримання біметалевих виробів.

Для підвищення металеві складові шихти та зменшення втрат теплоти реакцій на прогрів форми разом із шихтою форму підігрівають у муфельній печі до температури не менше 400°C згідно розрахунків температурних полів шару, який наплавляється, та основи. Після цього відбувається підпал суміші з великим виділенням теплоти, подальшим розплавленням металевих легованих порошків, прогрівом основи та наплавленням термітного розплавуна неї.

З отриманого зразка з наплавленим шаром виготовляли металографічний шліф, який труїли в 4% спиртовому розчині азотної кислоти, після чого досліджували на металографічному мікроскопі та за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3. На тлі протравленої фрагментованої рельєфної мікроструктури виявили гладкі включення (рисунок 2).

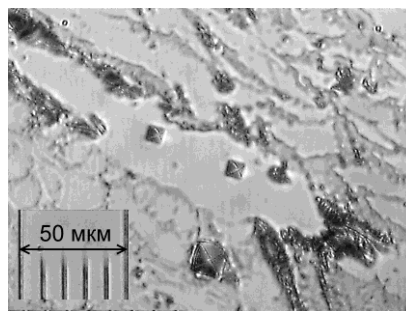


Рисунок 2 – Включення карбідів хрому з відбитками від алмазної піраміди

Мікротвердість зазначених включень у середньому дорівнює 18540 МПа.

Отже, наведений у роботі спосіб наплавлення є альтернативою до існуючих методів і є доцільним при ремонтах і виготовленні двошарових виробів. Він дозволяє отримувати зносостійку поверхню та прискорити час наплавлення, а також є економічно ефективним щодо використання енергоносіїв.

Список літератури

1. *Жигуц, Ю.Ю.* Екзотермічна суміш для живлення виливків з високолегованих марганцевих сталей / Ю.Ю. Жигуц // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2003. — №3(49). — С.176-179.

2. Краткий справочник физико-химических величин под ред. К. П. Мищенко, А. А. Равделя – Л.: Химия, 1974, – 200 с.

3. *Новиков Н.П.* Термодинамический анализ реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Новиков Н.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. // В кн.: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Черноголовка, 1975. - С. 174-188.

УДК 669.715:621.785

Е.Л. Скуйбеда

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ПОРОШКОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ДОЭВТЕКТИЧЕСКИХ ВТОРИЧНЫХ СИЛУМИНОВ

Вторичные силумины характеризуются широким интервалом содержания как основных компонентов, так и вредных примесей в составе, а также повышенной газонасыщенностью. Флюсовое рафинирование является эффективным, простым, технологичным и экономичным методом очистки сплавов от водорода и окислов алюминия, и его можно рекомендовать для обработки вторичных силуминов. Поэтому возникает необходимость в создании низкотоксичного рафинирующего комплекса, который бы обеспечивал снижение газонасыщенности, получение плотных бездефектных отливок, улучшение структуры и повышение механических свойств вторичных силуминов. В соответствии с поставленными задачами, нами был разработан флюс следующего состава: 25 ... 30% NaCl; 3 ... 10% S; 2,0 ... 5,0% KBF₄; 1,5 ... 5,0% Na₂CO₃; 1,5 ... 5,0% SrCO₃; 0,5 ... 2,0% Ti; 0,5 ... 0,8% SiC; 0,2 ... 0,5% C; остальные AlF₃. На экспериментальный флюс получен патент Украины № 44463 [1]. Исследование проводили на вторичном сплаве АК9М2: 8,38 ... 8,41% Si; 1,90 ... 1,91% Cu; 0,99 ... 1,0% Fe; 0,83 ... 0,84% Zn; 0,8% Mg; 0,26% Mn; 0,06% Ni; 0,05% Ti;

остальные Al. Силумин АК9М2 плавил под слоем стандартного флюса (15% KCl, 45% NaCl; 40% AlF₃). Осуществляли обработку расплава разработанным флюсом в количестве 1,0 масс. %. Исследование сплава проводили после термической обработки по режиму Т6.

Сера в составе флюса обеспечивала сильное рафинирующее воздействие на расплав в результате образования значительного количества паробразного продукта, интенсивного барботажа металла и связанного с этим удаления оксидных включений и растворенного водорода. Также добавка серы благоприятно воздействовала на форму и размер железистых интерметаллидов в структуре сплава. Карбонаты натрия и стронция диссоциировали с выделением углекислого газа, что обеспечивало дополнительное рафинирование расплава. Ультрадисперсные частицы карбида кремния, а также интерметаллидов Al₃Ti, играли роль дополнительных центров кристаллизации и способствовали измельчению микроструктуры. Тетрафторборат калия обеспечивал получение модифицированных структур эвтектического кремния, а также увеличивал термостабильность структур за счет повышения температур фазовых превращений. Соль KBF₄ взаимодействовала с алюминием по экзотермической реакции, которая проходила с восстановлением бора и замещением его алюминием в шлаке. Активное связывание титана в бориды увеличивало его усвояемость и повышало эффективность процесса зародышеобразования, поскольку частицы B₂Ti выступали в качестве подложек для зарождения зерен (Al) при кристаллизации. Совместное введение титана и тетрафторборат калия обеспечивало максимальное усвоение бора. Фторид алюминия способствовал уменьшению натяжения на границе раздела металл-флюс и растворению пленки оксида алюминия. Проведенные исследования показали, что использование разработанного рафинирующего флюса позволило получить более благоприятную структуру сплава АК9М2. Наблюдалось формирование мелкодисперсных и равномерно распределенных структурных составляющих, изменение формы интерметаллидов на основе железа с пластинчатой на многогранную или скелетообразную.

При использовании разработанного флюса по сравнению с необработанным состоянием (плавления под стандартным флюсом) газовая пористость вторичного сплава АК9М2 уменьшилась до 1 балла, твердость увеличилась на 25 единиц по шкале Бринелля, прочность на 77 МПа, а пластичность выросла в 1,5 раза. Таким образом, разработанная порошковая флюсовая композиция

обеспечивает комплексное воздействие на вторичные доэвтектические силумины, защищает расплав от окисления, способствует удалению оксидных включений и растворенных газов, а также измельчению структурных составляющих. Уровень механических свойств вторичного сплава АК9М2 при применении данного флюса удовлетворял требованиям ДСТУ 2839-94.

Список литературы

1. Пат. 44463, МПК (2009) С22В 1/00, С22В 9/00. Флюс для обработки алюминієвих сплавів / І.П. Волчок, О.А. Мітяєв, А.Є. Островська, О.Л. Скуйбіда; заявник та патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т. – № 200902450; заявл. 19.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19..

УДК 621.746: 669.18

Соколовская Л.А., Шинский О.И., Мамишев В.А.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ОБ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ И ОТЛИВОК

Машиностроительные и металлургические слитки и стальные отливки образуют широкий класс литых заготовок разного назначения. Температурные поля слитков и отливок при их затвердевании влияют на физико-механические свойства литого металла и эксплуатационные свойства металлоизделий.

При затвердевании стальных кузнечных и прокатных слитков в чугунных изложницах и отливок в металлических кокилях температура распределена неравномерно по их сечению и изменяется во времени [1,2], а между слитком и изложницей, отливкой и кокилем происходит нестационарный теплообмен.

Так как измерения температуры в затвердевающих слитках и отливках являются трудоемкими и дорогостоящими, то для определения температурного поля в системах слиток-изложница и отливка-форма целесообразно применять современные методы математического моделирования тепловых процессов [3] и вычислительного эксперимента на персональных компьютерах (ПЭВМ).

Надёжность полученных результатов математического моделирования на ПЭВМ нестационарных температурных полей в системах слиток-изложница и отливка-кокиль в первую очередь зависит от возможности математической модели затвердевания с максимальной достоверностью отражать [4] процессы внутреннего и внешнего теплообмена в исследуемых системах. Способствует этому учёт в формулировке тепловой задачи затвердевания литых заготовок известных из литературы экспериментальных данных, которые нужны для того, чтобы обеспечить адекватность (почти полное соответствие) математической модели затвердевания промышленных стальных слитков и отливок реальным теплофизическим условиям их формирования в полости изложницы или кокиля.

В приведенной в [5] математической модели затвердевания слитков и отливок разной массы и геометрических размеров учтены следующие данные:

а) в дифференциальном уравнении нестационарной теплопроводности в системе затвердевающий слиток-изложница и затвердевающая отливка-кокиль учтены факторы адекватности модели затвердевания, к которым относятся:

- известные из эксперимента температурные зависимости теплоемкости, теплопроводности и плотности жидкой и твердой фаз стали и чугуна;

- экспериментальные значения скрытой теплоты кристаллизации сталей (углеродистых и легированных) в интервале температур ликвидус-солидус;

- геометрический параметр ($\Gamma=1,2,3$) [3,5] поперечного сечения слитка или отливки, их толщина (диаметр) и толщина стенок изложницы или кокиля;

б) в граничных условиях теплопередачи от слитка к изложнице или от отливки к кокилю и теплоотдачи от изложницы или кокиля во внешнюю среду:

- наличие газового зазора между затвердевающим слитком или отливкой и стенками изложницы или кокиля учитывает коэффициент теплопередачи $\alpha_1(t)$ от поверхности слитка (отливки) к поверхности изложницы (кокиля). По закону Ньютона-Рихмана коэффициент $\alpha_1(t)$ можно получить обработкой результатов температурных измерений в системе слиток-изложница или отливка-кокиль.

- если на поверхности изложницы или кокиля имеется слой краски, то коэффициент теплопередачи α_1 можно найти по полученным в [6] формулам, которые учитывают тепловое сопротивление этого защитного слоя;

- теплоотвод от наружной поверхности стенки изложницы или кокиля во внешнюю среду учитывает коэффициент теплоотдачи $\alpha_2(T)$, который получен в [2] в соответствии с законом Стефана-Больцмана о тепловом излучении тел.

Результаты расчета температурных полей в системах слиток-изложница и отливка-кокиль сопоставляются с фактическими параметрами затвердевания слитков и отливок. Например, можно использовать экспериментальные и расчетные данные других авторов по времени затвердевания стального слитка или по температуре поверхности его охлаждения в чугунной изложнице.

Список литературы

1. *Ефимов В.А.* Разливка и кристаллизация стали. – М.: Metallurgy, 1976. – 552 с.
2. *Вейник А.И.* Тепловые основы теории литья. – М.: Mashgiz, 1953. – 383 с.
3. *Коздоба Л.А.* Решение нелинейных задач теплопроводности. – К.: Наукова думка, 1976. – 135 с.
4. *Мамишев В.А.* О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка - форма - окружающая среда / *Металл и литьё Украины*, 2012. – № 11. – С. 31 – 35.
5. *Соколовская Л.А., Мамишев В.А.* Теплофизическое обоснование программ расчета температурных полей при затвердевании слитков и крупных отливок с вводом в расплав литой дроби // *Процессы литья*, 2015. – №5. – С. 61 – 69.
6. *Соколовская Л.А.* Учёт теплового сопротивления неметаллических прослоек в контактной зоне теплообмена / *Литейное производство: технология, материалы, оборудование, экономика и экология. Матер. международ. научно-практ. конф.* – Киев: ФТИМС НАНУ, 2011. – С. 256 – 258.

УДК 621.74:669.131.7.001.57

С. А. Стороженко, А. І. Кобзева, Т. І. Стороженко

Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ

ХОЛОДНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВДУВАННЯ МАГНІЮ В ЧАВУН

Впровадження процесу модифікування чавуну магнієм призвело до створення в металургії і ливарному виробництві цілого напрямку, пов'язаного з появою високоякісних чавунів з кулястим графітом. Заміна в ряді випадків сталевого литва, а також заготовок з кольорових металів високоміцним чавуном як менш дефіцитним і більш дешевим матеріалом має низку технологічних переваг. До того ж, за рахунок зменшення маси деталей і подовження терміну їх служби; збільшення точності і довговічності роботи підвищується конкурентоспроможність вітчизняної ливарної продукції.

Разом із тим, поширені способи модифікування чавуну металевим магнієм мають багато недоліків, а саме: значний піроефект з викидом бризок металу, іноді навіть вибуховий характер процесу; незадовільне засвоєння магнію розплавом, що призводить до підвищеної його витрати; значні втрати тепла металом на випромінювання та конвекцію в процесі модифікування, а також на нагрівання і випаровування підвищеної кількості введеного магнію, внаслідок чого знижується температура чавуну в ковші і ускладнюється дотримання оптимальної температури заливки тощо.

Протягом більше 60 років застосування магнію для модифікування чавуну проблема введення магнію в розплав не вирішена. Вона залишається актуальною і сьогодні. Перспективним є вдування магнію у високодисперсному стані в струмені газу-носія [1]. Перевагами такого процесу є поступове дозоване введення магнію, можливість регулювання швидкості надходження модифікатора в метал, високе його засвоєння. Проте цей процес ще вимагає додаткового дослідження.

В умовах лабораторії кафедри металургії чорних металів ДДТУ виконане холодне моделювання процесу продувки магнієм чавуну в ливарних ковшах. Створена прозора експериментальна установка в масштабі 0,6 реального ковша місткістю 1 т. На моделі були досліджені такі фурми: у вигляді трубки постійного перерізу; з воронкою на вихідному кінці та з випарником, відкритим з нижнього торця, на вертикальних стінках якого зроблено 24 отвори невеликого діаметра.

Розплав моделювали 10-% водним розчином оцтової кислоти з додаванням йоду; диспергований магній — сумішшю NaHCO_3 та картопляного крохмалю у співвідношенні 4:1; газ-носії — стисненим повітрям. Питома витрата повітря

відповідала витраті газу-носія $0,12 \text{ м}^3$ на 1 кг магнію. Продувальну фурму, воронку та випарник відповідної конструкції виготовляли з полістиролу. Рух бульбашок CO_2 фіксували відео зйомкою, розташування реакційної зони – зміненням кольору рідини внаслідок взаємодії крохмалю з йодом.

Мета даних експериментів — дати якісну характеристику гідродинаміки рідкої ванни при введенні в неї диспергованого «модифікатора» в залежності від конструкції занурюваної фурми, а саме, охарактеризувати поведінку спливаючих бульбашок в об'ємі ковша та оцінити розмір і розташування реакційної зони.

При зануренні в ківш фурми постійного перерізу та вдуванні «модифікатора», в результаті реакції миттєво утворювалися бульбашки газу, які піднімаючись вгору, тільки короткий час залишалися в контакті з рідиною. Реакційна зона фурми, не поширюючись на периферію ковша.

Зазначені вище недоліки частково нівелювалися при наявності на виході продувальної фурми воронки певного діаметру. При такому способі введення «модифікатора» газоутворення відбувається безпосередньо під воронкою, реакційна зона значно більша, ніж у попередньому експерименті. Але, зважаючи на те, що дана зона знаходиться безпосередньо під воронкою, створюються умови для укрупнення бульбашок газу, які спливають на поверхню рідкої ванни.

При подачі диспергованого «модифікатора» з переведенням останнього в пароподібний стан у відкритому випарнику мало місце подрібнення бульбашок та збільшення об'єму рідини, залученої до реакції, яка відбувалася доволі спокійно порівняно з вищеописаними експериментами.

Таким чином, в результаті холодного моделювання процесу вдування магнію в чавун через фурми різної конструкції дана якісна характеристика гідродинаміки рідкої ванни та доведена доцільність використання продувної фурми з випарником для введення модифікатора в ківш.

Список літератури

1. Сигарев Е. Н. Гидродинамика и тепломассообмен в испарителе закрытого типа при обработке чугуна магнием / Е. Н. Сигарев, А. Г. Чернятевич, С. Е. Самохвалов, К. И. Чубин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2006. — №7. — С. 203—208.

Т. Л. Тринева

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел./факс.: раб.(044)424-12-80, моб.050-204-10-79, e-mail: trinoz@mail.ru

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ОТЛИВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИХ МАССЫ

Проблема снижения веса отливок является одной из главных задач современного машиностроения.

Так выбор материала для того или иного вида продукции дает возможность не только снижения массы изделия, но и повышения как эксплуатационных прочностных качеств, что позволяет значительно повысить срок службы изделий для той или другой области промышленности.

Применение высокопрочных чугунов с шаровидным графитом позволяет производить замену литой стали в изделиях ответственного назначения (валки горячей прокатки, станины и рамы прокатных станов, молотов и прессов). По сравнению со сталью они обладают несравненно более высокими литейными свойствами и на 8-10 % меньшей плотностью, что позволяет не только снизить массу изделий, но избежать возникновения разрушительных трещин, что характерно для материалов с высокой плотностью. Даже поковки ответственного назначения из легированных сталей можно заменять на отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, Классический пример этого — тяжело нагруженные коленчатые валы дизельных, в том числе автомобильных двигателей, к которым предъявляют высокие требования по статической и усталостной прочности [1, 2, 3] .

Высокопрочный чугун используют и для замены серого чугуна с пластинчатым графитом, если необходимо увеличить срок службы изделия или снизить массу.

Применение высокопрочного чугуна с шаровидным графитом видится достаточно экономически выгодным в области автодор, в изготовлении канализационных люков и дождеприемников, особенно для магистральных тяжело нагруженных дорог.

Вес как люков так и дождеприемников изготовленных из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом позволяет не только уменьшить вес отливки

более чем в 3 раза, но также за счет прочностных характеристик данного материала увеличить срок эксплуатации более, чем в 2,5 раза

На Рис.1., Рис.2, Рис.3 изображены примеры канализационных люков и дождеприемник.



Рис.1



Рис.2

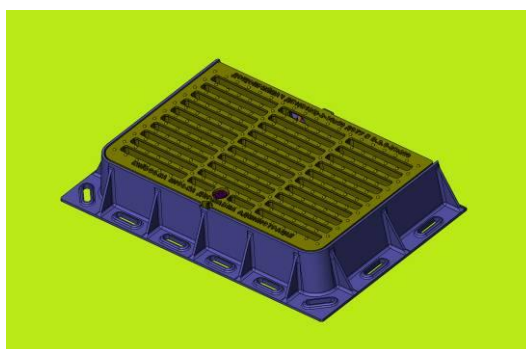


Рис.3

Список литературы

1. *Пейсаков А.М., Кучер А.М.*, Материаловедение и технические конструкционные материалы: Учебник для вузов.- Спб.: Изд-во Михайлова, 2005. – 410с.
2. *Баландин Г.Ф.*, Основы теории формирования отливки. М., Машиностроение, 1980. -256с.
3. *Арзамасов Б.Н., Макарова В.И.*, Материаловедение: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им.Баумана, 2005. - 646с.

УДК 621.791.92

Е. В. Сухова, Н.С.Лябах, Н. А. Здоровец

(Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара,
Днепропетровск)

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ЛИТЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СПЛАВА Fe-B-C

Сплавы Fe–B–C считаются перспективными материалами для нанесения покрытий методами литья. Эти покрытия сочетают высокую твердость, крипоустойчивость, окалинотойкость. Это позволяет использовать их для упрочнения и восстановления деталей металлургического, горнорудного, машиностроительного оборудования, работающих в условиях абразивного и газо-абразивного износов, в том числе при повышенных температурах. Однако для расширения ассортимента упрочняемых деталей возникает необходимость в обеспечении стойкости покрытий Fe–B–C в кислых и нейтральных средах. Учитывая то, что основной структурной составляющей сплавов в области составов (по массе) 5,0–9,0 % B, 0,1–0,7 % C, Fe – остальное является гемиборид железа, в работе изучали влияние легирующих элементов на закономерности формирования структуры и свойств твердых растворов на основе этой фазы. Исследования проводили методами количественного металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов. Коррозионные испытания осуществляли гравиметрическим методом при температуре 295 K в течение 4 часов в кислых средах и до 5 суток в нейтральных средах.

Проведенные исследования показывают, что первичные твердые растворы на основе бориде Fe_2B кристаллизуются в виде прямых призм с большой степенью анизотропии. При введении в сплавы, охлажденные со скоростью 10 K/c, до 5 % одного из следующих элементов: Cr, V, Nb или Mo – наблюдается полная растворимость Cr и V и пренебрежительно малая растворимость Nb и Mo в гемибориде железа. Последние два элемента образуют в структуре самостоятельные фазы Mo_2B , $Mo_2(B,C)$ или NbB_2 . Анализ полученных результатов указывает на образование твердых растворов замещения Cr и V в бориде Fe_2B .

Закономерно наибольшие изменения микромеханических свойств гемиборида железа наблюдаются при легировании хромом или ванадием. При введении 5% Cr или 5 % V средняя микротвердость фазы Fe_2B снижается соответственно с 15,8 до 15,0 или 15,5 ГПа. При этом коэффициент трещиностойкости K_{IC} растет в 2,5 и 2,3 раза соответственно при легировании Cr и V.

Описанные изменения механических свойств можно объяснить появлением упругих искажений решетки гемиборида железа при растворении в ней легирующих элементов. Их величина зависит от отношения радиусов

замещенного атома железа и замещающего атома примеси. Это отношение увеличивается в направлении Cr→V→Mo→Nb. Соответственно уменьшается вероятность замещения атомов железа атомами примесей в твердых растворах. Это объясняет установленную экспериментально растворимость Cr и V в гембориде железа и отсутствие последней для Nb и Mo. Тем не менее, введение этих двух элементов, образующих в структуре самостоятельные фазы, повышает общую микротвердость сплавов Fe–B–C.

С учетом полученных результатов для проведения коррозионных испытаний был выбран состав сплава Fe–B–C, содержащего до 95±2 % гемборида железа, легированного 0,1 % C, 3,0 % Mo, 3,0 % Nb, 1,0 % V, 1,5 % Cr. Он характеризуется твердостью 85±2 HRA и прочностью на сжатие 2120±10 МПа. Скорость коррозии этого сплава в кислых и нейтральных средах значительно ниже, чем эта характеристика для эталона, изготовленного из низкоуглеродистой стали следующего состава: 0,22%С; 0,3%Cr; 0,4%Mn; 0,05%Si; 0,03%Ni; 0,03%Cu; 0,05%As; 0,05%P; 0,05%S (таблица).

Таблица

Результаты определения скорости коррозии (г/м²·ч) в кислых и нейтральных средах

Образец	0,5н·H ₂ SO ₄	5н·H ₃ PO ₄	5%HNO ₃	1н·HCl	2н·CH ₃ COOH	3н·NaCl	3%Na ₂ SO ₄
Эталон	140,53±	151,41±	172,96±	18,90±	5,0±	0,12±	0,30±
	0,22	0,07	0,53	0,05	0,10	0,01	0,02
Fe ₂ B	4,57±	1,41±	48,34±	1,39±	0,92±	0,07±	0,09±
	0,12	0,02	0,11	0,07	0,04	0,03	0,01

Таким образом, комплексное легирование гемборида железа Cr, V, Nb или Mo обеспечивает повышение твердости, прочности на сжатие и коррозионной стойкости сплавов Fe–B–C. Это позволяет рекомендовать эти сплавы в качестве покрытий на деталях быстроизнашивающегося оборудования.

ПРОЧНОСТЬ СПЕКАЮЩЕГОСЯ ОПОРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ КВАРЦЕВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

Способ формовки кварцевых керамических оболочковых форм (КО) предопределяет как начальную температуру, так и скорость её повышения в печи во время прокаливания КО. Как правило, в качестве опорного наполнителя кварцевых КО используют кварцевый песок, шамотную крошку или бой КО. Существенным недостатком данных материалов, как опорного наполнителя, является их высокая удельная теплоёмкость, плотность и относительно низкий коэффициент теплопроводности, что приводит к значительному увеличению длительности прокаливания КО и, соответственно, большому расходу энергоносителей.

С целью сокращения длительности прокаливания в качестве опорного наполнителя используют легковесные материалы, в частности, керамзитовый гравий (А.С. СССР №916043). Тем не менее, как свидетельствуют результаты использования керамзитового гравия, применение данного материала без засыпки межгранульного пространства, например, кварцевым песком, нежелательно. Это обусловлено тем, что при перемещении КО, заформованных в керамзитовый гравий, приводит к взаимному смещению его гранул и, соответственно, КО. Кроме этого, несвязанные между собой гранулы гравия не обеспечивают дополнительной прочности КО, что нередко становится причиной ухода расплав из формы при заливке тонкостенных КО.

В настоящей работе исследовали три варианта формовки КО в опорный наполнитель: 1 – КО без опорного наполнителя; 2 – в керамзитовый гравий с засыпкой кварцевым песком; 3 – в керамзитовый гравий с засыпкой смесью кварцевого песка и борной кислоты

Для выбора рационального состава опорного наполнителя исследовали кинетику нагрева и охлаждения КО, подготовленных к заливке по схемам, представленным на рисунках 1,а,б,в, а также прочность на сжатие при комнатной температуре предварительно прокалённой при $950 \pm 15^\circ\text{C}$ смеси гравия керамзитового с наполнителем кварцевым песком от содержания в кварцевом песке борной кислоты. Результаты проведенных исследований представлены на рисунках 1 и 2.

Анализ хода термограмм на рисунке 1 показывает, что скорость нагрева и охлаждения КО без опорного наполнителя, в керамзитовом гравии и керамзитовом гравии с кварцевым песком, обеспечивает близкие скорости нагрева и охлаждения КО.

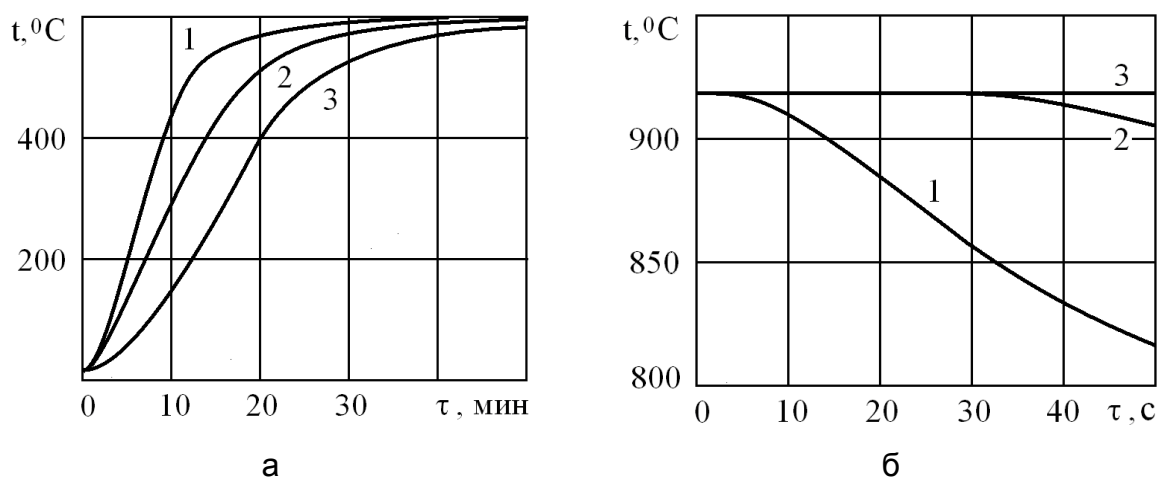


Рисунок 1 – Изменение температуры КО от длительности её выдержки в прокалочной печи при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$ (а) и при выдержке на воздухе (б):
 1 – КО не заформована в опорный наполнитель; 2 – опорный наполнитель гравий керамзитовый; 3 – опорный наполнитель (гравий керамзитовый + кв. песок)

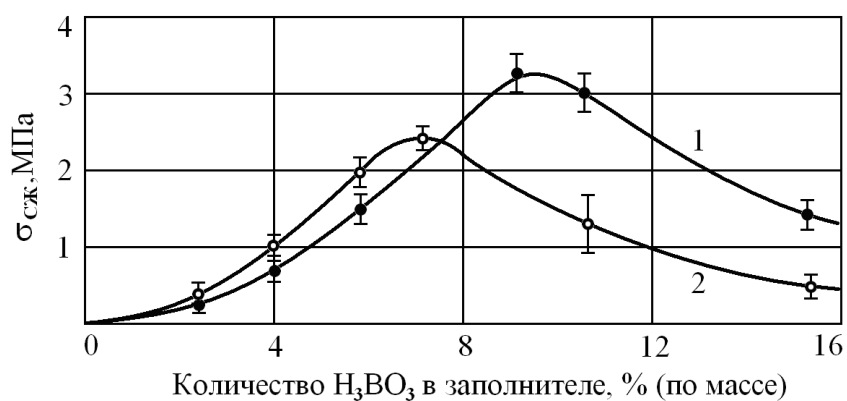


Рисунок 2 – Зависимость прочности на сжатие смеси керамзитового гравия и кварцевого песка от содержания борной кислоты в кварцевом песке.
 1 – песок марки 2K₃O₁₀16; 2 – песок марки 2K₃O₁₀03

В тоже время, использование кварцевого песка и смеси кварцевого песка с борной кислотой позволяет существенно повысить прочность опорного наполнителя и использование смеси кварцевого песка с борной кислотой придаёт опорному наполнителю более высокие технологические свойства, что позволяет рекомендовать данные смеси в качестве наполнителя межгранульного пространства пористых материалов, применяемых в качестве опорного наполнителя кварцевых керамических оболочковых форм.

УДК 621.74.042:669

М.А. Фесенко¹, И.В. Лукьяненко¹, А.Н. Фесенко²,

В.А.¹ Косячков, Е.В.¹ Фесенко

(¹Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев,

²Донбасская государственная машиностроительная академия,
г. Краматорск)

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

При производстве деталей, работающих в условиях интенсивного износа, широкое распространение получили легированные высокохромистые чугуны (ЛВХЧ). Высокая стойкость этих чугунов обеспечивается структурой, состоящей из карбидов хрома типа $(Cr,Fe)_7C_3$, расположенных в аустенитной, мартенситной или мартенситно-аустенитной матрице, которая формируется в процессе кристаллизации чугуна, легированного хромом в количестве 20...30% [1].

В свою очередь, несмотря на высокую стойкость ЛВХЧ, им присущ ряд недостатков, а именно высокая стоимость, плохие технологические свойства, которые усложняют изготовление деталей с различной толщиной стенок, особенно тонкостенных (от 3...10 мм), трудность обработки резанием, и в первую очередь, частей детали, которые предназначены для монтажа. Кроме этого, для обеспечения заданной структуры и свойств при изготовлении деталей из ЛВХЧ требуется проведение дополнительных технологических операций, например, внепечной обработки расплава [2] или термической обработки деталей [3], что усложняет и удорожает процесс их производства.

С целью устранения ряда недостатков в данной работе предлагается способ получения износостойких чугуновых двухслойных деталей с рабочей поверхностью (частью) из нелегированного белого износостойкого чугуна с перлитно-цементитной структурой и вязкой ударостойкой монтажной частью из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом феррито-перлитного класса.

Белый чугун с перлитно-цементитной структурой обеспечивает достаточно высокую твердость рабочей поверхности детали, а высокопрочный чугун с феррито-перлитной структурой, плотно соединенный с рабочей поверхностью детали является подложкой, которая сдерживает скалывание и разрушение бе-

лого чугуна в процессе эксплуатации детали. Монтажная часть детали из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом поддается механической обработке резанием, что обеспечивает получение необходимых размеров и конфигурации части детали, предназначенной для крепления ее в механизмах, машинах или другом оборудовании. Кроме того, стоимость двухслойных чугунных деталей с рабочей частью из белого чугуна и монтажной частью из высокопрочного чугуна ниже стоимости таких же деталей, получаемых из легированных хромистых чугунов при сохранении срока эксплуатации.

По предлагаемому способу износостойкие чугунные двухслойные детали получают методом литья из исходного расплава, кристаллизующегося с отбелом. Исходный расплав чугуна выплавляется в одном плавильном агрегате и при заливке в форму разделяется на два потока. Первый поток проходит по каналам литниковой системы и заполняет часть полости формы, формирующую рабочую поверхность детали, а второй поток перед заполнением полости формы, где формируется монтажная часть детали, проходит внутриформенную обработку сфероидизирующим модификатором.

Для стабильного получения структуры и свойств высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в монтажной части детали из исходного чугуна, склонного к кристаллизации с отбелом, предварительно проведены исследования по выбору эффективных модифицирующих сфероидизирующих добавок. Кроме того, установлены оптимальные температурно-временные режимы заливки расплава и предложены конструктивно-технологические приемы для предотвращения гидродинамического перемешивания чугунов, заполняющих полость формы, где формируется рабочая и монтажная части литой детали.

Реализация предложенного способа подтверждена при производстве опытных промышленных литых деталей «Нож» массой 1,0 кг, «Насадка молотковой дробилки» – 20 кг, «Бронеплита» – 50 кг.

Список литературы

1. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны / М.: Metallurgy, 1976. – 288 с.
2. Радченко К.С., Платонов Е.А., Ямшинский М.М., Федоров Г.Е. Улучшение структуры и свойств износостойкого чугуна титаном и редкоземельными металлами // Материалы научно-технической конференции Новые материалы и технологии в машиностроении, 2013. – С.92-94.

3. Неижко И.Г. Термическая обработка чугуна /Киев. – Наук. думка, 1992. – 208 с.

УДК 621.74:621.313:658.382:538.4

В. Н. Фикссен, В. И. Дубоделов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЛИТЕЙНЫХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магнитодинамическая установка МДН-6А прошла более, чем сорокалетнюю апробацию на многих промышленных предприятиях. В основном она использовалась как миксер-дозатор в сочетании с машинами литья под давлением и кокильными машинами. На базе этой же установки разработан способ литья под электромагнитным давлением, который показал высокую промышленную эффективность при получении отливок высотой до 150 мм, особенно тонкостенных. Более широкому применению этого способа препятствует недостаточно высокое электромагнитное давление, создаваемое установкой и составляющее 25 кПа. Предлагаются два основных пути повышения электромагнитного давления.

Первый путь – использование устройств, в которых две рабочие зоны соединены последовательно. Например, известно устройство с Ф-образным каналом и двумя рабочими зонами. Часть создаваемого давления теряется из-за циркуляции расплава по боковым каналам, поэтому итоговое давление существенно меньше суммы давлений, создаваемых каждой из рабочих зон, и составляет примерно 40 кПа. Это устройство уступает магнитодинамической установке типа МДН-6А с Ш-образным каналом по технологическим возможностям, поэтому на практике использовалось мало. Предложено новое устройство, которое объединяет достоинства установок с Ш-образным и Ф-образным каналами. То есть может создавать давление до 40 кПа и быть использовано в тех же процессах, что и установка МДН-6А. Так же предложено ещё одно новое устройство с каналом, имеющим три индукционные единицы и две рабочие зоны, соединённые последовательно. В этом устройстве исключены потери дав-

ления, вызываемые циркуляцией расплава в каналах, поэтому ожидается повышение электромагнитного давления не менее чем до 50 кПа. Индукторы устройства могут быть подключены как на однофазное, так и на трёхфазное напряжение.

Второй путь повышения электромагнитного давления - увеличение расстояния, на котором суммируются электромагнитные силы в рабочей зоне. В установке МДН-6А не имеется возможностей изменения этого параметра. Задача может быть решена, если использовать П-образный канал с расщепленным на две части индуктором, между которыми располагается один из двух полюсов С-образного электромагнита с катушкой. В этом устройстве реализуется возможность увеличения тока в рабочей зоне не менее чем в 2 раза без превышения максимально допустимого значения плотности тока. Соответственно ожидается повышение рабочего электромагнитного давления примерно с 25 кПа до 50 кПа без увеличения магнитной индукции между полюсами электромагнита.

УДК 621.746.047

А. Ю. Хитько, Л. А. Шапран, Л. Х.Иванова

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ БАНДАЖИРОВАННЫХ РОЛИКОВ МНЛЗ

В Украине в рамках разработки «Национальной программы развития ГМК Украины до 2020 года» предлагалось ввести в строй на Украине 23 машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Одним из основных приоритетов для решения этих проблем является создание новых материалов для рабочих органов МНЛЗ, в частности роликов МНЛЗ. На отечественных заводах применяют разные по типам сплавов ролики, например, кованные ролики из низколегированных хромо-молибден-ванадиевых сталей. Эти ролики подвергаются ремонту наплавкой.

Ролики в процессе эксплуатации подвергаются различным температурным и механическим нагрузкам, при этом по мере удаления от кристаллизатора уменьшаются температурные нагрузки и возрастают механические. В соответствии с изменением температуры сляба служебные свойства материала роли-

ков должны подбираться дифференцированно. У роликов, ближайших к кристаллизатору секций, основным видом износа является образование кольцевых трещин и налипание. Это требует применения материалов с повышенной термостойкостью. По мере снижения температуры сляба увеличивается абразивный износ поверхности роликов. Кроме того, все сплавы для изготовления роликов должны быть теплостойкими, то есть сохранять достаточный уровень твердости, износостойкости и прочности при повышенных температурах. Для рабочего слоя роликов целесообразно применять материалы с высоким сопротивлением термическому, абразивному и коррозионному разрушению.

Получение ролика с учетом предъявляемых требований к материалам возможно с использованием для бандажа бочки биметаллических центробежнолитых полых заготовок.

Целью работы были выбор материала для бандажей роликов МНЛЗ.

В качестве одной из базовых для рабочего слоя роликов была выбрана аустенитно-карбидная марки 20X25N19C2Л, которая характеризуется высокой стойкостью против окисления в интервале температур 20...1100°C. При комнатных температурах эта сталь обладает умеренной прочностью, высокой пластичностью и удовлетворительной свариваемостью. Продолжительный нагрев при умеренных температурах несколько изменяет ее свойства вследствие процессов дисперсионного твердения. Длительное пребывание под нагрузкой при высоких температурах также влияет на механические свойства стали, повышая твердость и уменьшая пластичность и ударную вязкость. Однако это снижение пластичности в результате длительного нагрева вполне допустимо. Важным свойством стали является отсутствие фазовых переходов при температурах эксплуатации (600...100°C), что гарантирует низкую склонность к налипанию прокатываемого металла. Все перечисленные свойства этой стали дали основание для ее выбора. После кристаллизации сталь 20X25N19C2Л практически не испытывала фазовых превращений. В рабочем слое заготовки структура состояла из разновеликих зерен аустенита, преимущественно ориентированных в направлении теплоотвода. Количество, так называемой, X-фазы в образцах не превышало 5%. Карбидная фаза была изолирована и сосредоточена, как правило, в углах зерен, иногда образовывала сравнительно развитую сетку. Карбидная фаза представляла собой сложное легированный ледебурит с разным морфологическим строением. Переход между слоями был резко выражен.

После тепловой обработки для снятия структурных и внутренних напряжений и стабилизации структуры рабочего слоя ролика существенных изменений структуры заготовки из стали 20Х25Н19С2Л не наблюдали: имело место поглощение лишних зерен в рабочем слое.

Длительную прочность материала от центробежнолитых заготовок определяли на цилиндрических разрывных образцах диаметром 5 мм с резьбовыми головками в изотермических условиях ($T = 570^{\circ}\text{C}$), соответствующих условиям работы роликов МНЛЗ при напряжениях от 78,4 до 176,4 МПа с помощью машины для испытания на жаропрочность мод. АИМА-5-1. Испытания показали, что при нагрузке 176,4 МПа образцы разрушались через 1970 ч, при нагрузке 156,8 МПа – 10519 ч, при нагрузке 137,2 МПа – 17378 ч, а при нагрузках 78,4...117,6 МПа образцы простояли 27984 ч. Таким образом, сталь 20Х25Н19С2Л имела уровень длительной прочности, близкий к аналогичным сталям, подвергавшимся предварительной обработке давлением.

Исследована структура материала от центробежнолитых бандажей роликов МНЛЗ. В результате сталь марки 20Х25Н19С2Л была рекомендована для бандажей роликов, близких к кристаллизатору секций зоны вторичного охлаждения МНЛЗ.

УДК 621.771.2.073.8:621.791.756

В.Е. Хрычиков

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ-ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫЙ ОБОГРЕВ ПРИБЫЛИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Усадка сплавов при затвердевании обуславливает образование усадочных раковин и пор. Это особенно актуально для чугуна с отбеленной структурой рабочего слоя, плотность металла которого составляет $\approx 7660 \text{ кг/м}^3$, что выше плотности углеродистой стали $\approx 7500 \text{ кг/м}^3$ и серого чугуна $\approx 7200 \text{ кг/м}^3$. Вследствие этого усадка больше, а масса прибылей при литье чугунных прокатных валков достигает 40%, что выше по сравнению с производством, например, стальных слитков.

Моделирование процесса затвердевания отливки в комбинированной кокильно-песчаной литейной форме позволило установить влияние различных технологических факторов на направленное затвердевание отливки, образование тепловых узлов и усадочных дефектов. Расчеты показали, что направленное затвердевание отливки можно обеспечить (в большинстве случаев), если утеплить зеркало металла прибыли и сохранить высокую температуру расплава, или подвести дополнительные источники тепла. Влияние экзотермической засыпки на затвердевание валков было смоделировано с помощью подвода дополнительного источника тепла (Q) к зеркалу металла отливки. Установлено, что экзотермическую смесь целесообразно применять только для фасонных отливок. Применение формовочных теплоизоляционных смесей по сравнению с экзотермическими засыпками более эффективно для массивных отливок.

Наиболее действенным оказалось применение технологии комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева (ЭДЭШО) прибыли чугуновых прокатных валков. Ее особенность заключается в том, что после окончания заливки в прибыль опускают графитированный электрод до соприкосновения с расплавом, затем приподнимают его для зажигания электрической дуги, которая горит под слоем флюса, имеющего определенный химический состав и удельное электросопротивление. После расплавления флюса и формирования шлаковой ванны происходит переход на режим электрошлакового обогрева прибыли.

Технология электрошлакового обогрева (ЭШО) отличается тем, что легкоплавкий флюс вводят на струю заливаемого расплава в сифонную литниковую систему с тангенциальным подводом питателя в нижнюю шейку. За счет температуры перегрева чугуна флюс расплавляется и всплывает через нижнюю шейку, бочку и верхнюю шейку в прибыль, так что одновременно происходит рафинирование чугуна от неметаллических включений. Экспериментальными исследованиями установлено направленное затвердевание бочки, верхней шейки и прибыли валка. Кинетика затвердевания остальной части отливки не претерпевает значительных изменений.

Технология ЭДЭШО прибылей чугуновых прокатных валков внедрена и успешно работает на Днепропетровском (ДЗПВ) и Лутугинском (ЛЗПВ) заводах прокатных валков. Масса обогреваемых отливок составляет от 1,5 до 50 т.



Рис. 1. Торец прибыли прокатного валка из высокопрочного чугуна массой 26000 кг, отлитого с комбинированным электродуговым-электрошлаковым обогревом прибыли, и валков, отлитых с утеплением древесным углем и двухразовой доливкой прибыли

При использовании обогрева масса металла, находящегося в прибыли, может быть уменьшена в 2,0 – 3,0 раза. Экономическая эффективность внедрения технологии возрастает с увеличением стоимости энергоресурсов. Это обусловлено тем, что электрообогрев компенсирует только потери тепла расплава из прибыли в окружающую среду. При питании усадки отливки за счет доливаемого металла необходимо тратить энергию на подогрев, расплавление и перегрев чугуна.

УДК 621.745.56:621.3.015.3

С. С. Череповский, А. В. Иванов, В.Н. Цуркин

Институт импульсных процессов и технологий

НАН Украины, Николаев,

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧАСТОТЫ ПОСЫЛКИ ИМПУЛЬСОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОТЛИВКИ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВОВ

Обработка расплавов электромагнитным полем известна давно. Одним из относительно новых методов в этом направлении является метод магнитно-импульсной обработки (МИО) расплавов. Его эффективность подтверждена ря-

дом инициативных экспериментальных исследований [1,2]. Вместе с тем, современные тенденции развития литейного производства постоянно выдвигают новые требования к экономическим, экологическим и эргономическим показателям технологий МИО расплавов. Одной из основных научно-практических задач в рамках данной проблемы – это разработка эффективного и экономичного высоковольтного электрооборудования для реализации магнитно-импульсного воздействия на расплав. Но, как подтверждают данные публикаций, за основу такого оборудования берутся уже имеющиеся установки для МИО твердого состояния. Однако, как показано в работах [3,4] такой подход, который не учитывает временные параметры разрядных импульсов (длительность, период, крутизну нарастания тока и др.), не позволяют разработать научно-обоснованный подход к выбору наиболее рациональных параметров обработки и проектированию такого оборудования, которое бы отвечало современным требованиям и тенденциям развития как литейных технологий, так и силовой импульсной техники.

Предварительно проведенные с помощью математического моделирования исследования показывают, что величина частоты разрядного тока в контуре (f) активно влияет на значение магнитной индукции и электромагнитной силы (F) в расплаве. Таким образом, учет пространственно-временных параметров электромагнитного поля в течение одного импульса тока позволяет существенно расширить функциональные возможности МИО с точки зрения силового нагружения расплава.

С целью определения зависимости степени изменения внутренней структуры литого сплава от частоты следования разрядных импульсов $f_{сл}$, что весьма сложно показать расчётным путем используя процедуру расчёта с помощью математического моделирования в программной среде, была проведена серия экспериментов. Влияние МИО на литое состояние производили путем обработки расплава в тигле плавильной печи и дальнейшей его заливке в формы для металлографических исследований. В качестве объекта обработки применялся сплав АК5М2. Обработка расплава проводилась при температуре 750 ± 10 °С, заливка происходила при температуре 710 °С по аналогии с работой [2]. Энергетические режимы и результаты обработки приведены в таблице , где $W_0 = CU^2/2$ – запасаемая в конденсаторах энергия, $P_{потр.}$ – средняя потребляемая установкой мощность, $f_{сл}$ – частота следования разрядных импульсов.

Таблица. Сравнение режимов МИО расплава силумина и результаты их воздействия на литой металл.

№ обр.	W_0 , Дж	f , кГц	$f_{сл}$, имп/с	$P_{потр.}$, кВт	Размер ячейки α , мкм	Размер кремния Si, мкм
0	-	-	-	-	34	8
1	112,5	100	2	0,225	34	2,5
2	112,5	100	6	0,675	27	2,5
3	200	100	4	0,8	24	2,9

Таким образом экспериментально подтверждено влияние частотных параметров импульса разрядного тока на эффективность МИО расплавов. Результаты экспериментов показывают значительную степень измельчения микроструктуры отливки, при гораздо меньшей (от 2 до 7 раз) потребляемой мощности установки для МИО, чем в известных прежде работах.

Список литературы

1. *Чугунный Е. Г.* Магнитоимпульсная обработка кристаллизующихся расплавов// Литейное производство. – 1996. – №1.-С.12-14.
2. *Черников Д. Г., Глуценков В. А., Никитин В. И., Никитин К. В.* Совершенствование способа магнитно-импульсной обработки алюминиевых расплавов// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. - №16(6).
3. *Череповский С. С.* Управляющие параметры магнито-импульсной обработки расплава//Металл и литье Украины.-2014. -№.12.- С. 32-33.
4. *Щерба А.А., Иванов А. В.* Электротехнические компактные системы обработки расплавов металлов высоковольтными электроразрядными импульсами//Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2014. – Вип. 36. – С. 96–102.

М.В. Чечель

Запорізький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ГАРЯЧОГО ІЗОСТАТИЧНОГО ПРЕСУВАННЯ ДЛЯ УСУНЕННЯ ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ

Сучасний споживчий ринок високощільних виробів потребує деталей, щільність яких наближена до теоретичних значень, що можливо досягти завдяки використанню нових технологій плавки та пресування під високим тиском.

Однією з перспективних технологій сьогодення є гаряче ізостатичне пресування (ГІП). За умови, досить високого розвитку апаратів високих та надвисоких тисків, та унікальності впливу, ізостатичне пресування має безумовні переваги у порівнянні з традиційними технологіями обробки металів тиском та температурою.

ГІП дозволяє усунути цілий ряд ливарних дефектів, а саме мікропори в об'ємі виливків, поверхневі та глибинні дефекти. В переважній більшості, важливою перевагою устаткування ГІП – є усунення таких дефектів без необхідності використання додаткової термічної обробки, що в свою чергу дозволяє значно скоротити та спростити технологічний процес отримання кінцевого виробу. Використання ГІП у виробництві дає можливість одночасної обробки достатньо великої партії виливків, та значно скорочує витрати на рентгенівський контроль.

В даний час видалення дефектів методом ГІП використовується в промислових масштабах для таких матеріалів, як нержавіюча сталь, титанові і алюмінієві сплави, а також нікелеві та кобальтові сплави. Однак ГІП гарантує поліпшення механічних властивостей навіть для звичайної вуглецевої литої сталі, яка набуває механічні характеристики, аналогічні виробам, отриманих деформуванням. Алюмінієве литво після баротермічної обробки також підвищує пластичність і опір циклічному і термічному руйнуванню.

Видалення пористості поблизу поверхні виливків значно покращує якість механічно обробленої поверхні, надає високі показники зносостійкості.

Завдяки отриманню високих показників механічних властивостей та усуненню цілої низки ливарних дефектів виливків, області застосування гарячого ізостатичного пресування швидко зростають.

Таким чином, ГІП доцільно використовувати для отримання відповідальних деталей та вирішення самих складних задач сучасного ливарного виробництва та матеріалознавства.

УДК 621.74

О.А. Чибичик, О.В. Акимов

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПЛАВКИ НА СВОЙСТВА ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГОСЯ ДЛЯ ЗАЛИВКИ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В период интенсивного развития электроэнергетических технологий актуальной остается проблема улучшения эксплуатационных характеристик асинхронных электродвигателей, а именно их электропроводности. Одним из первостепенных значений оказывающих влияние на эксплуатационные характеристики является алюминий литой обмотки, который должен иметь определенную электропроводность, поэтому необходимо, чтобы металл отливки был плотным и не имел литейных дефектов.

В ходе исследования установлено, что качество литой обмотки ротора определяет не только температура нагрева пакета ротора, температура заливки, время заливки и т.д. но и чистота применяемого алюминия. При выборе марки первичного алюминия для заливки роторов следует учитывать изменения химического состава, которые происходят в процессе переплавки и выдержки металла. Также установлено, что на электропроводность «беличьей клетки» помимо химического состава влияет наличие в расплаве окислов и неметаллических включений и их расположение в стержнях клетки, которые понижают жидкотекучесть и ухудшают механические свойства.

Главным источником образования включений окиси является окисление жидкого алюминия кислородом воздуха при плавке и разливке. В этом случае включения окиси алюминия имеют вид пленок, смешанных в металле и находятся они, как правило, во взвешенном состоянии. Распределение и толщина пленок в этом случае зависят от температуры жидкого металла и продолжительности окисления. Окисные пленки имеют обычно поры, заполненные газом, поэтому их плотность может быть равна и даже меньше плотности жидкого алюминия. Отстаиванием удалить окислы из металла не удастся. Оседают

только крупные включения, которые меньше всего оказывают влияние на физические и технологические свойства алюминия. Включения в мелкодисперсном состоянии в силу высокой активности оказывают решающее влияние на строение расплава.

При заливке первичного алюминия его окиси, попадая в узкие щели паза, перекрывают поступление металла. Жидкий металл не может их расплавить и в результате стержни клетки получаются с недоливами и неспаями. Большое значение имеет расположение окисной пленки в стержне ротора. Окисная пленка алюминия, обладающая большой вязкостью, захватывается струей металла при заливке и попадает в паз ротора. Если оксидная пленка располагается параллельно вертикальной оси стержня, цельность сечения его не нарушается, если же оксидная пленка своей плоскостью расположится перпендикулярно оси стержня или под углом, то при этом нарушится цельность сечения стержня. Наличие окислов в отливке ротора уменьшает электропроводность «беличьей клетки» и способствует трещинообразованию в короткозамкнутых кольцах. Литейные дефекты беличьей клетки резко снижают электропроводность алюминия.

Необходимо отметить и тот факт, что в процессе плавки алюминия происходит его насыщение такими вредными примесями как железо, кремний, медь т.д. которые отрицательно влияют на электропроводность. Поэтому для получения качественного ротора необходимо регулировать режим плавки и ее продолжительность.

По результатам исследования были разработаны рекомендации, согласно которым необходимо стремиться к уменьшению времени выдержки жидкого металла в печи, контролировать температуру металла в печи и не допускать использования возврата собственного производства.

Список литературы

1. Макаров Л. С., Урецкий И.З. Заливка роторов электродвигателей больших габаритов. - М.-Л.: изд-во «Энергия», 1966. - 128с.
2. Антонов, М.В. Технология производства электрических машин: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.:Энергоатомиздат, 1993. – 592с.
3. Любецкий, Д.Г., Макаров, Л.С., Урецкий, И.З. Литые обмотки роторов асинхронных электродвигателей. – М.: Энергия, 1979. – 169с.

4. Гудченко, А.П., Васильева, И.Н. Влияние состава сплава и скорости охлаждения на образование газовой пористости в отливках из алюминиевых сплавов// Исследование процессов литья алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1969. – 320с.

УДК 669.018.42:62-405

В. Ю. Шейгам, В. М. Дука, А. Г. Борисов, А. Г. Вернидуб

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗЕРНА ОТЛИВКИ В ФОРМЕ С НИЗКИМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Измельчение зерна отливки является эффективным направлением для повышения твердости, ударной вязкости и циклической прочности детали. Особенно актуально это для отливок, получаемых в песчано-глинистых формах с низкими теплофизическими характеристиками.

Открытая поверхность металла в слитках и литейной форме в разное время привлекала внимание исследователей. Одни из них считали, что она самостоятельно без внешнего вмешательства может быть источником образования опускающихся в жидкий металл кристаллов [1]. Другие считали, наоборот, что она не может быть источником образования изолированных кристаллов [2]. В работе [3] модельными экспериментами на гипосульфите ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) и натурными опытами на отливке из сплава АЛ2, которая затвердевала в сухой песчано-глинистой форме, установили, что по сравнению со спокойным процессом затвердевания периодическое взламывание корочки, образовавшейся на свободной поверхности расплава ускоряет процесс зарождения в ней зародышей твердой фазы в несколько раз. На свободную поверхность авторы воздействовали перемешиванием расплава стальным прутиком, опущенным на глубину 3 см от поверхности и перемешивали его в горизонтальных направлениях. Авторы подсчитали, что такое действие на расплав позволило получить в отливке дополнительно 9500 зерен. За счет этого повышаются механические свойства отливок.

В работе [4] авторы ссылаются на ряд работ, в которых обработка поверхности жидкого металла водоохлаждаемыми вибрирующими стержнями

производится при непрерывной разливке стали, Это интенсифицирует зарождение и существенно изменяет тепло- и массообмен в зоне их функционирования. Кроме того, на промышленных 6 т. слитках в зоне равноосных кристаллов получено измельчение структуры, а протяженность зоны столбчатых кристаллов уменьшилась.

В настоящей работе исследовали влияние генерируемых в поверхностном слое кристаллов на структуру отливки в форме, обладающей чрезвычайно низкими теплофизическими характеристиками. Для этой цели использовали вологран, который разработан в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины.

Выбран состав вологран из 50 % каолинового волокна и 50 % высокоглиноземистого цемента. Этот материал широко используется в качестве огнеупорного материала для футеровки каналов электромагнитных насосов и индукционных печей. При таком соотношении компонентов он обладает теплопроводностью (0,16 ккал/м·ч·°С), которая в 4 раза ниже теплопроводности сухой песчано-глинистой смеси (0,65 ккал/м·ч·°С). Форма имела полость в виде усеченного конуса с размерами $\varnothing 60 \times \varnothing 70 \times 70$ мм. Толщина стенок формы – 25 мм. Вес образца из алюминия А7 (ДСТУ 11069-2003) составляет ~500 гр. Как известно, алюминий в условиях низких скоростей затвердевания образует крупные кристаллы.

Для проведения экспериментов в полость формы устанавливали три термодатчики. Один – в нижнем углу формы, другой – по оси на расстоянии 35 мм от дна, третий – на половине радиуса на расстоянии 10-12 мм под зеркалом жидкого металла. Форму устанавливали в лабораторную печь сопротивления и нагревали до 760 °С. Металл плавил в графитовом тигле в другой печи. При температуре металла 770 °С металл переливали в форму. Очищали зеркало металла от окислов и печь выключали. Затвердевание металла в форме происходило вместе с печью с преобладающим охлаждением через открытую поверхность расплава.

В такой же последовательности проводили эксперимент по влиянию вибрирующего стержня-кристаллизатора, введенного в поверхностный слой жидкого металла на глубину 10-12 мм. Кристаллизатор представляет собой стальной стержень диаметром 8 мм с коническим, вводимым в расплав участком стержня. Контактующая с жидким металлом коническая часть кристаллизатора окрашена краской на основе коллоидального графита.

При понижении температуры металла до 670 °С в расплав вводили вибрирующий кристаллизатор. Виброобработку затвердевающего металла проводили с частотой 50 Гц и амплитудой. 0,5 мм в соответствии с рекомендациями [5].

Анализ макроструктур образцов в осевом сечении свидетельствует о том, что в нижней части образцов не обнаружено конуса осаждения. В таблице представлены средние размеры макрозерна, их максимальные и минимальные значения в различных зонах образца для условий затвердевания без вибрации (образец № 5) и с вибрацией (образец №8).

Таблица – Параметры макроструктуры образцов

№ образца	Значения замеров макрозерна	Размеры зерен по высоте, мм		
		верх	середина	низ
5	Средние	4,7	8	2,4
	Максимальные	10,3	32,7	6,3
	Минимальные	1,4	1,7	1,3
8	Средние	2,9	0,5	0,4
	Максимальные	6,8	1,6	0,8
	Минимальные	1,1	0,3	0,2

Сравнительные результаты свидетельствуют о том, что при обработке затвердевающего металла вибрирующим кристаллизатором средние размеры макрозерна в верхней, средней и нижней части образца уменьшаются в 1,62; 16,0 и 6 раз соответственно. Максимальные размеры зерна уменьшаются в 1,5; 20,4 и 7,9 раз, а минимальные размеры зерна уменьшаются в 1,3; 5,7 и в 5 раз.

Анализ полученных термограмм показывает, что время затвердевания образца при вибрационной обработке кристаллизатором сокращается более чем в 2 раза. Вибрирование открытой поверхности затвердевающего металла, введенным в расплав кристаллизатором является эффективным способом получения мелкокристаллической структуры в формах с низкими теплофизическими характеристиками.

Список литературы

1. Скобло С. Я., Донцов П. М. Механизм образования конуса осаждения в слитке// Сталь.-1951.- №6.-195, Москва.- С.534-543.

2. Ойкс Г. И. Вопросы кристаллизации слитка стали//Сталь, 1952.- №8.- С.735-741.

3. Скребцов А. М., Дан Л. А., Килочкин В. В. Исследование воздействий на свободную поверхность затвердевающей отливки или слитка// Известия ВУЗов, Черная металлургия.- №9.- 1995.- Москва.- С.54-57.

4. Смирнов А. Н., Пилушенко В. Л., Минаев А. А., Момот С. В., Белобров Ю.Н. Процессы непрерывной разливки// Донецк.- 2002.- С.318-319.

5. Нурадинов А. С., Найдек В. Л., Эльдарханов А. С., Таранов Е. Д. Влияние вибрации на структуру и свойства алюминиевого сплава АК5М2// Литейщик России.- 2005.- №10.- С.23-25.

УДК 621.74.045.72

В.О. Шинский

Физико – технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ
КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ПО
ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

В целях использования компьютерной мониторинговой сети для реализации оперативного дистанционного контроля параметров технологических процессов и экологического состояния литейных объектов при получении отливок по газифицируемым моделям [1-3] разработан классификатор сбора и обработки информации, часть которого представлен в табл.

Таблица - Основные точки съема информации о параметрах технологических операций и оборудования в цикле изготовления отливок по газифицируемым моделям

	Наименование	Контролируемые параметры оборудования и технологических операций
	2	3
1.Технологический цикл изготовления литейных пенополистироловых моделей		
	Установка вспе-	Давление пара, Рп, Мпа

.1	нивания полисти-рола	Температура среды в камере вспенивания, Тс, °С Время работы агрегата, t, час
.2	Полуавтомат модельный	Давление пара в агрегате, Рс, МПа Давление пара в пресс - форме, Рпп, МПа Разряжение воздуха в агрегате и пресс - форме, Рв, МПа Температура охлаждающей жидкости в пресс-форме, Тж, °С Время цикла изготовления моделей, тц, мин.
.3	Установка изготовления литейных пенополистироловых моделей	Давление пара в камере агрегате, Рс, МПа Температура в камере агрегате, Рс, °С Время цикла изготовления моделей, тц, мин.
.4	Сушильный комплекс для противопригарных покрытий	Температура среды в агрегате, Тс, °С Время работы агрегата, t, час. Идентификация моделей и модельных блоков

2. Технологический цикл формообразования

.1	Приводной рольганг для перемещения контейнеров	Время работы оборудования, t, час
	2	3
.2	Контейнер литейный	Идентификация отливок (моделей), их количество и масса на позиции формовки
.3	Стенд заливочный с коллектором вакуумным	Разряжение воздуха в агрегате и контейнере, Рв, МПа Содержание СО, пыли, продуктов термодеструкции в рабочей зоне заливки металла, мг/м ³
.4	Стенд разгрузочный	Содержание СО, пыли, продуктов термодеструкции полистирола в рабочей зоне разгрузки контейнеров, мг/м ³
	Сито вибраци-	Температура формовочного материала в агрегате,

.5	онное	Тф, °С Время работы агрегата, t, час
.6	Стол вибрационный	Идентификация отливок (моделей), их количество и масса Температура формовочного материала в дозаторе, Тф, °С Время цикла формовки, мин. Время работы агрегата, t, час
.8	Установка дожига отходящих газов (электрическая)	Содержание СО, пыли, продуктов термодеструкции на выходе из агрегата, мг/м ³ Температура среды в агрегате, Тс, °С Время работы агрегата, t, час
.9	Холодильник песка	Температура формовочного материала на входе и выходе агрегата, Тс, °С. Температура охлаждающей воды в тепло-обменнике агрегата, Тс, °С. Время работы агрегата, t, час
.10	Установка регенерации песка	Температура формовочного материала на входе и выходе агрегата, Тс, °С. Температура формовочного материала на выходе из агрегата, Тс, °С; Температура среды в агрегате, Тс, °С. Время работы агрегата, t, час
	2	3
3. Технологический цикл плавки и заливки металла		
.1	Электрическая индукционная тигельная плавильная печь	Температура металла (плавление, подогрев, выпуск, заливка), Тм, °С. Масса металла в ковше ,кг. Содержание углерода, кремния. легирующих, серы, %. Энергетические показатели и время работы агрегата, кВт; час. Температура охлаждающей воды индуктора, ТПЧ, °С Содержание СО, пыли в рабочей зоне агрегата, мг/м ³ .

Таким образом, созданный классификатор сбора и обработки информации, технологических циклов и оборудования позволил реализовать информа-

ционную компьютерную систему контроля литейных объектов, и экологическое состояние биологических субъектов в рабочей зоне при получении отливок из железоуглеродистых сплавов по газифицируемым моделям

Список литературы

1. Шинский О.И. Круцкевич Н.Д., Шевчук Б.М. Построение интегрированной компьютерной сети дистанционного мониторинга параметров технологических процессов в литейном производстве// *Металл и литье Украины* -2010- № 4–19с .

2.Шалевская И.А., Богдан А.В., Шинский В. О. Экологический мониторинг образования вредных выбросов в цехе литья по газифицируемым моделям // *Металл и литье Украины*– 2015. – №2. – с.21- 25

3.Шалевская И.А., Богдан А.В., Шинский В.О. Мониторинг и контроль параметров при изготовлении литейных пенополистироловых моделей// *Процессы литья* – 2015. – №4. – с.19-22.

УДК 621.74.045.72

В.О. Шинский

Физико – технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЕЙНЫХ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ

При выборе технологических схем изготовления отливок единичного, серийного и массового производства из железоуглеродистых и цветных сплавов, используется разработанные методы компьютерного расчета и оптимизации параметров литья по газифицируемым моделям, которые предполагают классификацию их качества и определение параметров управления технологическими

процессами с использованием математических уравнений созданных при исследовании разновидностей этого способа литья [1,2].

В соответствии с классификатором, определяющим качество литых изделий и влияния на них технологических параметров, выбраны основные материалы и установлены оптимальные характеристики технологических процессов получения литейных пенополистироловых моделей (ЛПМ) в единичном серийном и массовом производстве. Определены основные материалы для получения ЛПМ и идентифицированы их параметры:

- для исходного полистирола суспензионного вспенивающийся: температура начала полимеризации, испарения, горения, стеклования, °С; удельное газовыделение при 1000°С, см³/г.; влажность, %; массовая доля мономера и порообразователя %; не газифицируемый остаток, %;

- для блочного пенополистирола: объемная масса, кг/м³ и пористость, %;

- для предварительно вспененного пенополистирола: удельная насыпная масса, кг/м; гранулометрический состав, мм; содержание основной фракции степень комкования, %;

- для противопопригарного покрытия: огнеупорность, °С; плотность, г/см³; газопроницаемость, ед.; газотворность, см³/г.; относительная вязкость, с; седиментационная устойчивость, %;

- для ЛПМ: плотность моделей, кг/м³; размерная точность, квалитет; шероховатость поверхности, мкм; сплошность, %;

- для разделительного покрытия на поверхности пресс-формы универсальная силиконовая смазка: водостойкость, адгезия к поверхности пресс – форм, не растворяемость пенополистирола;

- для устранения слипаемости (комкования) гранул пенополистирола: огнестойкость, не токсичность, не растворяемость пенополистирола;

Для получения качественных ЛПМ определены технологические процессы и идентифицированы их параметры:

- для предварительного вспенивания исходного пенополистирола: температура среды (вода. пар), °С; время вспенивания ,с;

- для получения ЛПМ автоклавным способом: температура пара в камере автоклава, °С; время спекания, мин., время охлаждения пресс – формы с моделью, мин., температура охлаждающей среды, °С;

- для получения ЛПМ методом «теплого удара» в пресс-форме: температура, °С; давление, МПа пара; время спекания и охлаждение модели, с; тем-

пература охлаждающей среды, °С; давление сжатого воздуха, МПа; разрежение, МПа;

- для подготовки, нанесения и тепловой обработки противопригарных покрытий на ЛПМ: плотность красочной суспензии, г/см³; температура сушки, °С; время сушки, мин.; толщина слоя на модели, мм.

Таким образом, на основании определения характеристик, идентификации основных материалов и технологических процессов определяющих производство литейных пенополистироловых моделей были разработаны РТМ «Организация единичного, серийного и массового производства литейных пенополистироловых моделей». а так же РМ «Компьютерная информационная система сбора, обработки и контроля технологических параметров и мониторинга экологического состояния объектов при производстве литейных пенополистироловых моделей» для последующего использования при создании новых производств отливок из железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям объемом 500-5000 тонн/год.

Список литературы

1. Шинский О.И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: дис. докт. техн. наук: 05.16.04 / ФТИМС. - Киев, 1997. - 473 с.

2. Шалевская И.А., Богдан А.В., Шинский В.О. Мониторинг и контроль параметров при изготовлении литейных пенополистироловых моделей// Процессы литья – 2015. – №4. – с.19-22.

УДК 621.74.045.72

В.О. Шинский

Физико – технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ХАРАКТЕРИСТИКИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЦИКЛ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ ПО
ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

При выборе технологических схем изготовления отливок единичного, серийного и массового производства из железоуглеродистых и цветных сплавов. используется разработанные методы компьютерного расчета и оптимизации параметров литья по газифицируемым моделям. которые предполагают классификацию их качества и определение параметров управления технологическими процессами с использованием математических уравнений созданных при исследовании разновидностей этого способа литья [1,2].

В соответствии с классификатором, определяющим качество литых изделий и влияния на них технологических параметров, выбраны материалы и установлены контрольные характеристики цикла формообразования при литье по газифицируемым моделям, в.т.ч:

- наполнение формовочным материалом (ФМ) донной части контейнера («постели») и его уплотнение на вибростоле автоматизированной формовочно – заливочной линии (АФЗЛ), с обязательным контролем: времени виброуплотнения, с; плотности песка после уплотнения, г/см^3 и высоты слоя «постели», мм;

- размещение окрашенных моделей с литниково – питающей системой (ЛПС) на «постель» в контейнере АФЗЛ, с обязательным контролем координат блока в контейнере, мм;

- виброуплотнение ФМ в контейнере с пенополистироловыми моделями и обязательным контролем: расхода ФМ из дозатора, кг/мин; времени виброуплотнения ФМ, с; плотности ФМ после уплотнения, г/см^3 и температуры ФМ на выходе из дозатора, $^{\circ}\text{C}$;

- герметизация и вакуумирование контейнера (формы) АФЗЛ, с обязательным контролем: разряжения в форме до и в период ее заливки металлом, МПа;

время вакуумирования формы, с; время охлаждения отливок в форме, мин.;

- заливку металла с монорельса механизированными ковшами в вакуумируемые

формы на заливочном стенде АФЗЛ,

- с обязательным контролем и сходной и текущей: массы металла в ковше, кг; времени заливки формы, с; исходной и текущей температуры металла в ковше, $^{\circ}\text{C}$;

- охлаждение отливок в формах на охлаждающей ветви АФЗЛ, с обязательным контролем: времени охлаждения отливок до момента их удаления из контейнеров;

- удаление ФМ и отливок из контейнера на стенде АФЗЛ;

- транспортировку ФМ с помощью вакуум пескопровода в вакуумируемый промежуточный и раздаточный силосы АФЗЛ, с обязательным контролем: начальной и текущей температуры ФМ в промежуточном и раздаточном силосе, °С; уровня ФМ в промежуточном и раздаточном силосе, м;

- регенерацию ФМ в установках терморегенерации песка АФЗЛ, с обязательным контролем: начальной и текущей температуры ФМ, °С; расхода ФМ, кг/мин.;

- охлаждение ФМ в холодильниках песка АФЗЛ; с обязательным контролем: начальной и текущей температуры ФМ, °С; расхода ФМ, кг/мин.;

- обезвреживание газов, в установках термokatалитического дожигания газов АФЗЛ, с обязательным контролем: начальной и текущей температуры газа, °С; расхода газа, м³/мин.;

- транспортировку отливок (блоков) в специальную тару для последующей передачи на участок финишных операций;

Таким образом, на основании определения характеристик, идентификации основных материалов и технологических процессов определяющих цикл формообразования были разработаны РТМ « Организация единичного, серийного и массового производства отливок по газифицируемым моделям», а так же РМ «Компьютерная информационная система сбора, обработки и контроля технологических параметров и мониторинга экологического состояния объектов в цикле формообразования» для последующего использования при создании новых производств отливок из железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям объемом 500-5000 тонн/год.

Список литературы

1. Шинский О.И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: дис. докт. техн. наук: 05.16.04 / ФТИМС. - Киев, 1997. - 473 с.

2. Шалевская И.А., Богдан А.В., Шинский В. О. Экологический мониторинг образования вредных выбросов в цехе литья по газифицируемым моде-

УДК 621.74.045.72

И.О. Шинский, С.И. Клименко, В.А. Маляр

Физико – технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВОГО РЕЖИМА В
ФОРМЕ С ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫМИ МОДЕЛЯМ, НАПОЛНЕННЫХ
ГРАФИТОВОЙ ФАЗОЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ
АРМИРОВАННЫХ ОТЛИВОК**

В настоящее время во ФТИМС НАН Украины интенсивно развиваются научные направления получения литых армированных конструкций, которые обладают новыми функциональными свойствами.

Для придания литым конструкциям из алюминиевых сплавов новых триботехнических, теплофизических, электротехнических свойств используются метод литья по газифицируемым моделям (ГМ), которые наполнены графитовой фазой (ГАФ). Вместе с тем известно, что наличие пенополистироловой модели в форме в период ее заполнения металлом изменяет ее газовый режим и соответственно предопределяет гидродинамику этого процесса [1,2].

Присутствие же в пенополистироловой модели ГАФ уменьшает массу пенополистирола и соответственно объем парогазовой фазы, которая образуется при термодеструкции модели, а следовательно предопределяет газовый режим в такой форме.

В целях создания научных и технологических основ получения армированных алюминиевых литых конструкций стало необходимым исследовать закономерности газового режима в форме с пенополистироловой моделью наполненной ГАФ при заполнении ее алюминиевым матричным сплавом (АМС).

Для реализации расчетной серии экспериментов были уточнены уравнения, определяющие максимальное $P_f^{\text{макс}}$ и установившееся P_f давления в форме при литье по газифицируемым моделям [1,2] при наличии в последних ГАФ.

На основании полученных математических зависимостей были определены расчетные значения величины $P_f^{\text{макс}}$ и P_f .

Анализ полученных данных при постановке серий экспериментов показывает, что применение ГМ, наполненных ГАФ существенно снижает величину $P_{ф}^{макс}$ для модели, содержащей (по объему) 20% ГАФ, начальной скорости подъема АМС в форме 20 мм/с и газопроницаемости противопопригарного покрытия в 1;15 и 30 ед.. ед. с 8,4 до 6,5 КПа, т.е. в 1,3 раза $P_{ф}^{макс}$. а при аналогичных параметрах, но ГМ с ГАФ 50% позволяет снизить величину $P_{ф}^{макс}$ до значений 2,3 до 1,3 КПа, т.е. в 3,5 – 5 раз. в сравнении с ГМ. насыщенной 20 % ГАФ. Особо следует отметить, что величина $P_{ф}^{макс}$ в этой серии экспериментов ниже по сравнению с использованием мономоделей из пенополистирола в 1,3 – 7 раз.

Не менее важно отметить, что повышение скорости подъема АМС в форме в 60 мм/с увеличивает значения $P_{ф}^{макс}$ до 10...2,3 КПа против аналогичных величин при скорости 20мм/с 8,3 – 1,3 КПа , т.е. 1,3 -1,5 раза.

Анализ полученных данных при постановке серий экспериментов показывает, что применение ГМ, наполненных ГАФ существенно снижает величину установившегося давления $P_{ф}$ для модели, содержащей (по объему) 20% ГАФ, начальной скорости подъема АМС в форме 20 мм/с и газопроницаемости противопопригарного покрытия в 1;15 и 30 ед.. находится в пределах 3,0 - 1,2 КПа, т.е. отличается от среднего значения в 1,4раза. а при аналогичных параметрах, но ГМ с ГАФ 50% позволяет снизить величину $P_{ф}$ до 0,4 - 0,3 КПа, т.е. в 4 – 8 раз. в сравнении с ГМ. насыщенной 20 % ГАФ.

Важно отметить, что увеличение содержания ГАФ в ГМ от 20 до 50% при скорости течения АМС в 60 мм/с снижает величину $P_{ф}$ с 7,0 – 1,8 до 0,8-0,4 КПа, т.е. в 4,5 -7 раз, но при этом величина установившегося давления $P_{ф}$ в этой серии экспериментов выше чем в предыдущей (скорость 20 мм/с) в 2 раза.

Особо следует отметить, что величина установившегося давления $P_{ф}$ в этой серии экспериментов ниже по сравнению с использованием мономоделей из пенополистирола в 3 – 20 раз.

Таким образом, установлено, что при получении алюминиевых армированных отливок с применением пенополистироловых моделей. насыщенных графитовой фазой снижает величину $P_{ф}^{макс}$ и $P_{ф}$ в форме и положительно влияет на увеличение в ней скорости подъема расплава АМС, а во многих случаях газогидродинамика литья по ГМ аналогична литью в полые формы.

Список литературы

1. Шинский И.О. Повышение качества отливок из медных сплавов методами литья по газифицируемым моделям и армированием: дис. канд. техн. наук: 05.16.04 / КПИ. - Киев, 2000. - 204 с.

2. Шинский О.И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: дис. докт. техн. наук: 05.16.04 / ФТИМС. - Киев, 1997. - 473 с.

УДК 621.74.045.72

И.О.Шинский, В.А. Маляр

Физико – технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ МАТРИЧНЫХ СПЛАВОВ В ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ, ОБРАЗОВАННОМ АРМИРУЮЩЕЙ ФАЗОЙ ГРАФИТА ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ЛИТЬЕ

В Физико – технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины создаются новые направления получения литых армированных конструкций с применением литья по газифицируемым моделям [1], в которых сформулированы теоретические предпосылки течения матричных сплавов в поровом пространстве образованном макроармирующей фазой.

Для создания научных основ получения и применения литых армированных алюминиевых конструкций, где в качестве армирующей фазы применяется графит (ГАФ) были исследованы закономерности течения алюминиевого матричного сплава (АМС) в поровом пространстве, образованном ГАФ при его гравитационной пропитке. Для исследования этих закономерностей использовались методы физического моделирования движения расплавов в пористой среде, созданных во ФТИМС [2].

При реализации серии экспериментов по изучению гидродинамики течения АМС в поровом пространстве, образованном ГАФ при гравитационной пропитке было установлено:

- при течении АМС в поровых каналах ГАФ наблюдается три характерных периода: начальный - скорость течения V_1 постоянна, а величина ее мак-

симальна и в зависимости от диаметра ГАФ находится в пределах 15-75 мм/с, в переходном периоде снижается до минимальных значений V_1 - 12...65 мм/с, которая уже постоянна в третьем установившемся периоде;

- на время изотермического течения и глубину пропитки АМС в тонких каналах, образованных ГАФ главенствующее влияние оказывает ее характерный размер, так в течении времени гравитационной пропитки 5с. с ГАФ в 1,0÷2,0 мм глубина перемещения МС составляет 90мм, в случае использования армирующей фазы 2,0÷3,0 мм глубина перемещения МС составляет 130мм а в случае применения ГАФ с размерами 3,0÷5,0мм глубина перемещения МС составляет уже 140мм, что во второй и третьей серии экспериментов толщина армированного слоя АМС с ГАФ возрастает в 1,4 и 1,6 раза;

- максимально допустимая толщина армированного слоя $L_{\text{макс.}}$ системы « АМС- ГАФ» при гравитационном литье в зависимости от диаметра ГАФ. равного 1...2 мм, 2...3мм и 3...5 мм составит 190 мм., 250 мм. и 265 мм соответственно. что во второй и третьей серии предельные значения $L_{\text{макс.}}$ возрастают в 1,3 и 1,4 раза;

Для практического применения полученных закономерностей течения АМС в поровом пространстве ГАФ были получены математические зависимости с использованием безразмерного критерия в виде коэффициента расхода системы μ , который характеризует гидравлическое сопротивление движению АМС в тонких каналах ГАФ.

С помощью этих математических зависимостей была определена максимально допустимая толщина армированного слоя $L_{\text{макс.}}$ системы « АМС- ГАФ» при гравитационной, изотермической пропитке в зависимости от диаметра ГАФ. равного 1...2 мм, 2...3мм и 3...5 мм составила 190 мм., 250 мм. и 265 мм соответственно. что во второй и третьей серии предельные значения $L_{\text{макс.}}$ возрастают в 1,3 и 1,4 раза;

Таким образом, в результате проведенных исследований закономерностей течения алюминиевых матричных сплавов в поровом пространстве, образованном армирующей фазой графита при гравитационном литье получены экспериментальные данные и математические зависимости, которые будут использованы при разработке методов оптимизации технологических параметров пропитки пористых систем « АМС- ГАФ» жидким алюминиевым матричным сплавом с различными физическими свойствами в изотермических условиях

при получении литых армированных конструкций на основе алюминиевых сплавов

Список литературы

1. Шинский И.О. Повышение качества отливок из медных сплавов методами литья по газифицируемым моделям и армированием: дис. канд. техн. наук: 05.16.04 / КПИ. - Киев, 2000. - 204 с.

2. Шинский И.О., Гончар Б.С., Переплетчик В.А. Гидродинамические условия течения жидкого металла в форме с армирующей фазой при получении композиционных отливок // Процессы литья. - 1999. - №3. - с. 45 - 47.

УДК 621.745.57

О. И. Шинский, И. А Шалевская *

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

В решении проблемы образования и выбросов вредных веществ важным и целесообразным является комплексный подход в ее реализации, заключающийся в рассмотрении вопросов использования прогрессивных технологий и оборудования, способствующих снижению уровня выбросов вредных веществ в атмосферу. Не смотря на то, что использование способа литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) способствует созданию экологически чистых цехов и

участков высокой культуры производства с улучшенными условиями труда [1], с целью предотвращения образования выбросов вредных веществ при использовании пенополистироловых моделей необходимо дополнительно исследовать процесс. При разработке новых технологических процессов особо важно было создать систему экологической безопасности, которая позволяет идеально защитить биологические объекты и окружающую среду от вредных выбросов, образующихся в результате термодеструкции газифицируемой модели. Для этой цели в Физико – технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины (ФТИМС НАН Украины) были проведены соответствующие исследования условий термодеструкции пенополистироловых моделей на всей стадии их контакта с жидким, затвердевающим металлом и при охлаждении отливки.

При этом было установлено два периода термодеструкции пенополистироловой модели в форме: первый (I)-при заполнении формы металлом и второй (II)-при затвердевании и охлаждении в ней отливки [3]. Причем второй период характеризуется конденсацией продуктов термодеструкции на зернах формовочного материала, что указывает на необходимость обязательного его периодического обезвреживания. Конечными продуктами термодеструкции являются: водород H_2 , оксид углерода CO , метан CH_4 , этилен, этан C_2H_6 , ацетилен C_2H_2 , пропилен C_3H_6 и углеводород C_nH_{2n+2} .

Так же этими исследованиями было установлены технологические пределы, которые создают наибольшую концентрацию вредных выбросов. Так, при заливке форм металлом в температурном интервале $1250-1550^{\circ}C$ количество выделившихся газов составило $23 \text{ см}^3/\text{г}$ полистирола. Концентрация стирола ниже ПДК ($5 \text{ мг}/\text{м}^3$) и составляет в зоне заливщика $1,5-2 \text{ мг}/\text{м}^3$ и над литейной формой $4-4,5 \text{ мг}/\text{м}^3$. Концентрация толуола в зоне заливщика не превышает ПДК $50 \text{ мг}/\text{м}^3$ и составляет $45-48 \text{ мг}/\text{м}^3$, а над формой превышает ПДК и составляет $75-80 \text{ мг}/\text{м}^3$. Концентрация бензола, как в зоне заливщика ($10 \text{ мг}/\text{м}^3$), так и над формой ($16-18 \text{ мг}/\text{м}^3$), не превышает ПДК ($20 \text{ мг}/\text{м}^3$).

Исследование характера и количества выделяющихся продуктов термодеструкции при выбивке формы показало, что удельный объем выделившихся газов составил $0,2$ на грамм песка в форме, в том числе (% об.): $H_2=28,21$; $N_2=20,35$; $O_2=2,42$; $CO=37,47$; $CO_2=5,0$; $CH_4=4,74$; C_nH_{2n} и $C_nH_{2n+2}=1,75$, а количество паров стирола, толуола, бензола в зоне выбивки превышает ПДК в $1,5-2$ раза.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что наибольшее количество вредных выбросов образуется при заливке формы, и охлаждении в ней отливок, а также при их удалении из формы.

Поэтому потенциально опасные участки необходимо оснащать вытяжными зонтами и вакуумвсасывающими системами удаления и локализации вредных выбросов и обеспечение их транспортировки в системы окончательной нейтрализации. При этом производительность установок термokatалитического дожигания вредных газов и регенерации песка напрямую зависит от объема производства цеха.

Список литературы

1. *Шалевская И.А.* Снижение вредного воздействия литейного производства на окружающую среду применением прогрессивных технологий. - «Литейщик России» – 2015. – №1. – Москва. – 38-41с.
2. *Шуляк В. С.* Литье по газифицируемым моделям. - СПб.: НПО «Профессионал», 2007.- С. 200.
3. *Шинский О. И.* Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: Дис. д-ра техн. наук: 05.16.04 / НАН Украины. - К., 1997. - 490л.

УДК 621.745.55

М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ

ВПЛИВ ВУГЛЕЦЮ, ТИТАНУ ТА РЗМ НА ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ

На довговічність литих деталей, що працюють в умовах високих температур, вирішальний вплив справляють процеси їх взаємодії з робочим середовищем. Найпоширенішим видом взаємодії є окиснення. Роль процесів окиснення з точки зору жаростійкості для сплавів на основі заліза величезна.

Відомо, що опір сталі газовій корозії в умовах високих температур визначається концентрацією в твердому розчині легувальних елементів, здатних утворювати під час окиснення захисний оксидний шар на поверхні виробу. На жаль, вплив одних і тих же елементів на окалиностійкість сталей різного хімічного складу неоднаковий і дуже залежить від вмісту в них інших елементів. Саме тому в цій роботі зроблена спроба визначити окалиностійкість сплавів на основі заліза з великим діапазоном концентрацій вуглецю, титану та РЗМ, зберігаючи максимально при цьому сталість вмісту інших елементів (хрому, алюмінію, марганцю та кремнію). Вміст фосфору та сірки витримували на рівні 0,020...0,025%.

Авторами встановлено, що із збільшенням вмісту вуглецю в жаростійких сталях їх окалиностійкість знижується, оскільки зменшується концентрація хрому в легованому фериті внаслідок витрат його на утворення карбідів, а отже скорочується кількість іонів хрому, які дифундують до поверхні виробу та утворюють захисну оксидну плівку Cr_2O_3 . Унаслідок цього послаблюються загальні захисні властивості оксидної плівки навіть за умови відносно високої (1,5...2,0%) концентрації алюмінію в сталі.

Досліджено спільний вплив вуглецю в діапазоні концентрацій від 0,08 до 0,81% та титану – до 0,63% – на окалиностійкість хромоалюмінієвої сталі з вмістом 30% хрому та 2% алюмінію. Сприятливу дію титану на окалиностійкість можна пояснити тим, що окрім вивільнення частини хрому, який мав би утворювати карбіди, здійснюється утворення окалини за участю оксидів титану. Така оксидна плівка має високі захисні властивості. Крім того, легування сталі титаном, знижує дифузійну рухомість заліза в фериті й зменшує кількість його оксидів в окалині, яка утворюється на поверхні виробу. Це підтверджено мікрохімічним аналізом оксидних плівок: за вмісту 0,25% титану в сталі виявлено 0,5...0,6% його оксидів, а вміст оксидів заліза, в порівнянні з окалиною, яка утворюється на зразках із сталі без титану, зменшився з 2,35...2,60 до 1,60...1,75%.

Для хромоалюмінієвої сталі з середнім вмістом вуглецю (0,30...0,40%) оптимальною добавкою титану можна вважати 0,25...0,45%.

Після підвищення вмісту титану в сталі його кількість в оксидних плівках зростає і окалиностійкість сплаву знижується.

Установлено, що із збільшенням вмісту вуглецю в сталі її окалиностійкість знижується – утрати маси підвищуються. Це пов'язано з тим, що вуглець сприяє утворенню більшої кількості карбідів хрому, а твердий розчин – легований ферит – збіднюється хромом. Структура сталі стає неоднорідною, змінюється

склад окалини, в ній зменшується кількість Cr_2O_3 та знижуються її захисні властивості. Разом з тим слід відзначити, що за вмісту вуглецю 0,25...0,30% окалиностійкість сталі практично не змінюється, оскільки витрати хрому на утворення карбідів невеликі, а склад захисної оксидної плівки залишається майже без змін. З підвищенням вуглецю до 0,35...0,45% на поверхні зразка утворюється менш щільна окалина, яка легко відшаровується, особливо в місцях виходу на поверхню карбідних груп, які порушують однорідність окалини, зменшують міцність її зчеплення з поверхнею металу та знижують рівень захисних властивостей окалини.

Установлено, що присадки РЗМ до 0,30...0,35% дещо покращують окалиностійкість сталей, причому для сталі з вищим вмістом хрому таке покращання зберігається до присадки РЗМ 0,45%. Подальше підвищення вмісту РЗМ призводить до різкого погіршення окалиностійкості й за вмісту 1,0% РЗМ ця характеристика майже вдвічі гірша, ніж сталі без РЗМ.

Таким чином установлено, що хромоалюмінієві сталі з урахуванням ливарних та механічних властивостей доцільно оброблювати РЗМ у кількості 0,15...0,25%, оскільки подальше підвищення його вмісту помітно знижує окалиностійкість сталей.

Таким чином нашими дослідженнями установлено можливості зміни складів і структури оксидних фаз в системі. Це дає змогу зробити висновок, що за високих температур в окиснювальному середовищі стабільними оксидними фазами є ромбоєдричні фази, а не шпінельні структури, тобто відновлення оксиду заліза хромом – реакція термодинамічно ймовірна, але дуже повільна.

УДК 669.131.7

А. А. Ясинский, В. Б. Бубликов, Б. Г. Зеленый, Ю. Д. Бачинский, Л. А. Зеленая, Е. А. Ясинская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@yandex.ua

**ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ И МАРГАНЦА НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ
ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА МОДИФИЦИРОВАННОГО В ЛИТЕЙНОЙ
ФОРМЕ**

Плавки проводили в индукционной электропечи емкостью 10 кг. В качестве шихты использовали переплав чушкового передельного чугуна марки ПЛ2 (50 %) и возврата высокопрочного чугуна (50 %). Химический состав полученного шихтового чугуна (% масс.): 4,12 С; 0,95 Si; 0,35 Mn; до 0,1 Cr; до 0,1 Cu; 0,026 S; 0,055 P. Для получения планируемого содержания кремния или марганца в конце плавки в индукционную печь вводили расчетное количество ферросилиция ФС75 или ферромарганца ФМн75.

Модифицирование магниевой лигатурой проводили в специальной форме с литниково-модифицирующей системой, состоящей из стояка, проточного реактора и шлакоуловителя, соединенных литниковыми каналами. Модифицированный расплав через сливной канал поступал в стояк нижней расположенной формы для получения технологической ступенчатой пробы. Заливка проводилась при температуре чугуна 1440-1450 °С. Температуру жидкого чугуна перед выпуском из печи и в ковше перед заливкой контролировали термопарой погружения. Модифицирование осуществлялось в проточном реакторе магниевой лигатурой ФСМг7. Расход лигатуры составлял 1,2 % от массы заливаемого расплава. При исследовании влияния кремния на структурообразование высокопрочного чугуна содержание марганца составляла 0,35-0,40 %, при исследовании влияния марганца содержание кремния в металле отливок составляла 2,6...2,9 %.

Исследование влияния содержания кремния в пределах от 1,5 до 2,5 % на параметры структуры ступеней разной толщины показало, что при содержании в высокопрочном чугуне 1,5 % Si в структуре ступеней толщиной 2,5 и 3,0 мм образуется цементит в количестве 25-30 и 15 % соответственно. Кристаллизация ступеней большей толщины проходит без образования цементитной фазы. При повышении содержания кремния до 2,0 % количество цементита в структуре ступеней толщиной 2,0 мм уменьшается до 15 %, 3 мм – до 5 %. При содержании в высокопрочном чугуне 2,5 % Si цементит практически отсутствовал даже в структуре самой тонкой ступени толщиной 2,0 мм. В опытах с содержанием 1,5 и 2,0 % Si в ступенях с отбелом формируется преимущественно перлитная металлическая основа.

Полученные результаты свидетельствуют, что создание условий для кристаллизации без образования цементитной фазы, также интенсифицирует ферритизацию металлической основы при эвтектоидном превращении. В условиях проведенного исследования при содержании в высокопрочном чугуне бо-

лее 2,5 % Si, в структуре ступеней толщиной от 3,0 до 15,0 мм обеспечивается получение ферритной металлической основы (более 90 % феррита). Характерным для данных условий исследования является также экспериментально установленная закономерность увеличения количества включений шаровидного графита с повышением содержания кремния в высокопрочном чугуне.

Исследование влияния содержания марганца в пределах 0,35-1,30 % на параметры структуры ступеней технологической пробы (в зависимости от их толщины) показало, что в условиях проведенного исследования при содержании марганца 0,35...0,7 % получились все ступени без цементита. При содержании марганца 1,0 % количество цементита в середине ступени толщиной 2 мм составляло 8 %, а у края ступени достигало 20 %. При содержании марганца 1,3 % в структуре ступени толщиной 2 мм по всей площади шлифа от середины до края количество цементита составляет 20 %. В структуре более толстых ступеней цементита не было. Таким образом, при высоком для высокопрочного чугуна содержании марганца 1,0...1,3 % цементит образуется только в тонких сечениях толщиной ~2 мм, что в условиях внутриформенного модифицирования открывает возможность применять шихтовые материалы с повышенным содержанием марганца для получения мелкого литья без отбела.

С повышением содержания марганца от 0,35 до 1,30 % масс. количество включений шаровидного графита в структуре ступенчатой пробы уменьшается на ~30 %, а количество перлита в металлической основе повышается в 2,5-4 раза.

УДК 669.131.7

А. А. Ясинский, Б. Г. Зеленый, В. Б. Бубликов, Л. А. Зеленая

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: (044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@yandex.ua

ВЛИЯНИЕ ПРЕДМОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ РАСПЛАВА НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Предмодифицирующую обработку расплава чугуна проводили с использованием графитового порошка фракцией 1-3 мм, ферросилиция ФС75 и модификаторов, содержащих Mg. В качестве шихты использовали «базовый» чу-

чугун с содержанием в масс. д. %: 3,65 C; 0,98 Si; 0,27 Mn; 0,025 S; 0,034 P; 0,09 Cr. Определяли степень сфероидизации графита (ССГ), количество, размер и характер распределения графитных включений, количество цементита, феррита и перлита в отливке ступенчатой пробы (при скорости охлаждения ступеней от 10,5 °C/с до 0,87 °C/с). Предмодифицирующую обработку расплава в печи осуществляли при температуре (1500+10) °C путем введения в жидкий чугун реагента с последующей выдержкой расплава в течение 5-7 мин. Сфероидизирующую обработку исходного чугуна проводили комплексным модификатором ЖКМК4Р в ковше в процессе заполнения его жидким металлом.

При исследовании предмодифицирующей обработки на структуру высокопрочного чугуна выявлено существенное положительное влияние на изменение параметров структуры высокопрочного чугуна. Особенно заметное влияние оказывает такая обработка исходного расплава на увеличение количества и дисперсности включений шаровидного графита при скоростях охлаждения отливок 8,5 и 10,5 °C/с. Количество включений графита в структуре высокопрочного чугуна увеличивалось более чем 2 раза. С уменьшением скорости охлаждения до 0,87 °C/с увеличение количества включений шаровидного графита несколько меньше, что вызвано увеличением их размеров при более длительной кристаллизации отливок. Вместе с ростом количества включений графита, увеличивается и дисперсность графита (в 1,5-2 раза).

Отмечено положительное влияние предмодифицирующей обработки на ССГ, что особенно сказывается при скорости охлаждения отливки менее 4,3 °C/с и граничном содержании $Mg_{ост}$ в чугуне после сфероидизирующего модифицирования. При граничном содержании $Mg_{ост}$ (0,028-0,031 %), обеспечивающем сфероидизацию графита в структуре чугуна, обработка исходного расплава в печи позволяет повысить ССГ в высокопрочном чугуне на 10-15 %. При скорости охлаждения более 10,5 °C/с изменения ССГ малозаметные, что вероятно связано со значительным количеством выделившихся при кристаллизации структурно-свободных карбидов. В случае более высокого ($\geq 0,035$ %) содержания $Mg_{ост}$ в чугуне (сфероидизирующее модифицирование лигатурами ЖКМК и ФСМг) эффективность предмодифицирующей обработки расплава на повышение ССГ проявляется в меньшей степени, однако и в этом случае наблюдается более равномерное распределение включений шаровидного графита при повышении на 2-5 % ССГ.

Предмодифицирующая обработка оказывает существенное влияние на долю ферритной составляющей в структуре высокопрочного чугуна исходного жидкого чугуна при скоростях охлаждения отливок менее 4,3 °С/с. Относительное количество феррита при $V_{\text{охл.}} = 4,3$ °С/с увеличилось с 20 до 51 %, а при $V_{\text{охл.}} = 1,6$ °С/с и 0,87 °С/с с 22 % до 64 %. Образование цементита практически не наблюдали (до 2 % при $V_{\text{охл.}} = 4,3$ °С/с). Увеличение скорости охлаждения до 8,5 °С/с и 10,5 °С/с привело к меньшей ферритизации металлической основы (32 и 17 % феррита соответственно) наряду со склонностью чугуна к образованию структурно-свободных карбидов (5 и 13 % соответственно). Без предмодифицирующей обработки высокопрочный чугун в отливках при скоростях охлаждения 0,87-8,5 °С/с, как правило, имел перлитно-ферритную структуру (22-13 % феррита), а количество цементитной фазы составляло 9-16 %. Высокая скорость охлаждения свыше 10,5 °С/с такого чугуна приводит к метастабильной кристаллизации с выделением до 30 % структурно-свободных карбидов.

УДК 621.74.002.6

В.В. Ясюков, А.В. Буланова

Одесский национальный политехнический университет

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КЕРАМИЗАЦИИ РАЗОВЫХ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ

При изготовлении тонкостенных отливок со сложным рельефом поверхности, получаемых в песчаных формах, основными видами брака являются пригар, экзогенные включения, недоливы, низкая воспроизводимость профиля, высокая шероховатость поверхности. Покрытия формы противопопригарными красками не решают проблемы из-за недостатков технологии нанесения и несовершенства их технологических свойств. Возможности получения отливок без указанных дефектов обеспечиваются керамизированными формами, опорный слой которых - песчано-жидкостекольная смесь, облицовочный-керамический

из этилсиликатных огеливаемых суспензий. Суспензии обладают высокой текучестью в исходном состоянии, упрочняются на модели, имеют высокую прочность и плотность. Вместе с тем процесс имеет ряд недостатков: значительная толщина керамической облицовки; необходимость стабилизации процесса огеливания; сложность тепловой обработки, при которой проявляется деформация, крупные трещины на поверхности, газотворность.

Процесс течения суспензии в зазоре между песчаной формой и моделью зависит от капиллярного впитывания и процесса структурирования. Заполнение узких каналов стало возможным при покрытии их гидрофобными пленками кремний-органических соединений и заполнение зазора суспензией под внешним давлением. Это позволило увеличить текучесть суспензии в 1,9 -2,0 раза.

В зависимости от концентрации гелеобразователя в суспензии продолжительность формирования структуры и ее упрочнение могут регулироваться в широком диапазоне. Изучение реологических характеристик показывает резкое возрастание прочностных характеристик облицовочного слоя (пластическая прочность, модуль Юнга, модуль Гука) с последующим спадом. Это является следствием возникновения высоких внутренних напряжений, вызывающих частичное разрушение структуры и появление крупных трещин на поверхности керамики. Противодействием этому явлению является предварительное удаление летучих (выжигание), способствующее формированию паутинообразной сетки трещин, не влияющей на качество литой поверхности и повышающей газопроницаемость.

Седиментационная устойчивость суспензии высокая и достаточная для выполнения полного объема технологических операций, если пластическая прочность P_m не более $0,2 \cdot 10^5$ Н/м². При исследовании адгезии облицовки к модельной оснастке установлено, что качественный съем форм с металлической модели со сложной развитой поверхностью обеспечивается определенным соотношением пластической прочности и упругости керамики.

Тепловая обработка поверхности керамики проводится при температуре 700 °С, что уменьшает деформацию форм в 2,5 – 3 раза и повышает геометрическую точность отливок.

Список литературы

1. *Оболенцев Ф.Д.* Развитие методов керамизации литейной формы / Ф.Д. Оболенцев, Л.А. Иванова, В.В. Ясюков, Ю.А. Селиванов, В.Г. Борщ // Развитие методов и процессов образования литейных форм. – «Наука», М. - 1977. - с. 139 – 144.

УДК 621.74

В. В. Ясюков, К. В. Волянская

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СКОРОСТЬ ДИФФУЗИИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВОК

Для получения качественных композиционных отливок необходимо обеспечить прочные связи между твердыми элементами и жидким матричным металлом в контактной зоне. Связи могут быть механические, адгезионные, диффузионные.

Исследовали факторы, влияющие на формирования качественной диффузионной связи между следующими парами: матричный чугун - литая оболочка из железоуглеродистых сплавов; матричный чугун - никелевая оболочка; матричный алюминий - медная оболочка. Основными факторами являются температура заливки матричного металла и подогрева твердого элемента, их химический состав, поверхностные явления на границе контакта.

Протекание диффузионных процессов можно условно разделить на три этапа: диффузии химических элементов в жидкой матрице; процессов на границе жидкого металла с твердым; диффузии в твердом металле. При этом возникает необходимость оценки явлений, происходящих на всех трех этапах.

В жидкой фазе массоперенос осуществляется молекулярной или атомной диффузией и конвекцией. Атомная диффузия в жидкой фазе на 2-3 порядка выше, чем в твердом состоянии, что обусловлено увеличением межатомных расстояний при повышении температуры (уменьшением потенциального барьера на пути диффундирующих атомов). Положительный вклад конвективных потоков в увеличении скорости диффузии определяется тем, что они способствуют транспорту атомов диффундирующего элемента к границе раздела фаз.

Исследованы параметры диффузии газов, растворенных в металлических расплавах (особенно водорода); проведена оценка влияния водорода на прочность связи залитого металла с твердым элементом композиции. Учитывался градиент концентрации химических элементов, в первую очередь азота и углерода, обладающих важной диффузионной подвижностью из-за малого атомного радиуса.

Для формирования диффузионной связи важно обеспечить условия смачивания жидким металлом поверхности твердого элемента. Наличие оксидов ухудшает смачивание, т.е. оксиды являются противодиффузионным барьером. Хорошо зарекомендовал себя защитный слой из $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Твердые поверхности предварительно обрабатывались в 10%-м растворе HCl затем покрывались водным раствором тетрабората натрия и высушивались при 420-450 К.

Никелевые гальванопластические оболочки подвергали водородному отжигу в вакууме при остаточном давлении 10^{-4} Па, что позволило снизить содержание водорода до $0,8 \cdot 10^{-5}$ м³/кг.

Для оснастки, работающей в условиях повышенного износа, поверхности оформляли оболочками из хрома, который плохо смачивается и образует хрупкий слой карбидов в зоне контакта. Для устранения этого недостатка оболочки никелировали, пассивировали и подвергали водородному отжигу.

Композиционные отливки с медными оболочками получали заливкой оболочки алюминиевыми сплавами. Увеличение смачиваемости достигалась цинкованием поверхности, при этом краевой угол смачивания θ уменьшался с $(65-80)^\circ$ до $(35-45)^\circ$.

Список литературы

1. *Бокштейн Б. С.* Термодинамика и кинетика диффузии в твердых телах / Б. С. Бокштейн, С. З. Бокштейн, А. А. Жуховицкий // М. Metallurgy, 1974. - 280 с.
2. *Ясюков В. В.* Получение гидроплотных отливок при использовании металлокерамических оболочек / В. В. Ясюков // Современное оборудование, технология плавки, внепечной обработки и заливки чугуна. - Львов. - 2003. - С.67.

В.В. Ясюков, Я. М. Рудницкий

Одесский национальный политехнический университет

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВОК С ЛИТЫМИ ОБОЛОЧКАМИ

При изготовлении литых оболочек существенное влияние на качество отливок оказывает влага литейной формы, находящаяся в связующих, огнеупорной основе, капиллярах и являющаяся источником атомарного водорода в металле. Пороки водородного происхождения в системе литая оболочка-матричный металл относятся к диффузионным барьерам, которые препятствуют формированию качественного переходного слоя. При более высоком содержании водорода в стальном элементе в сравнении с матричным чугуном наблюдается диффузия водорода из глубины элемента к более прогретой поверхности и молизация его на границе жидкой и твердой фаз. Это приводит к уменьшению эффективной площади их контакта. В свою очередь, при содержании водорода в твердом элементе до $10 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ металла происходит падение прочности соединения до 30%. Ухудшение качества соединения наблюдается и в том случае, если заливка стальных элементов с исходным низким содержанием водорода производится чугуном с более высокой концентрацией водорода. Следовательно, для повышения эксплуатационной надежности композиционных отливок необходимы дегазированный металл и негазирующие формы.

При исследовании формирования композиционных отливок с литыми элементами были использованы различные способы формообразования и формовочные составы. Наиболее приемлемые результаты были получены при литье в керамизированные формы, не содержащие газотворных составляющих, в том числе и конденсированной влаги. Однако серьезным недостатком этих форм является низкая скорость охлаждения отливки, что влечет за собой окисление и обезуглероживание поверхности, увеличение шероховатости. Повышение скорости охлаждения достигнуто применением кокиля с керамической облицовкой на основе дистенсиллиманита. Это позволило получить литые

элементы из углеродистой стали шероховатостью поверхности 6 класса ГОСТ 2789-95 и размерной точностью по 12-13 качеству.

Для предотвращения окисления и обезуглероживания применили холодногеливаемую суспензию с добавлением графита.

Описанная технология использована для литья лопаточных отводов с точнолитыми лопатками, позволяющих улучшить гидравлические параметры при эксплуатации насосов, а также для композиционных пресс-форм литья под давлением отливок из латуни.

Список литературы

1. *Лысенко Т.В.* Физико-химические процессы на поверхности стальных отливок при литье в керамизированные формы / Т.В. Лысенко, В.В. Ясюков, Д.В. Гладаренко // *Металл и литье Украины.* - 2015. - №9. - с.22-25.

2. *Ясюков В.В.* Композиционные вставки пресс-форм литья под давлением / В.В.Ясюков, Л.И. Солоненко, О.В.Цыбенко // *Металл и литье Украины.* - 2015. - №9. - с.26-29.

**V МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ 2016**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Voichenko S.B., Бойченко Б.М., Синегин Е.В. Модели процессов растворения частиц извести и периклаза в основных шлаках
2. Kalisz D., Синельников В.О. Interaction between non-metallic inclusion and slag
3. Żak P.L., Kalisz D., Rączkowski G. Interaction between non-metallic and solidification front
4. Абрамов С.А., Гришин В.С., Морозенко Е.П. Функционально-ориентированные технологические процессы изготовления водоохлаждаемых медных изделий в металлургии
5. Андриенко А.В. Внепечная обработка стали для разливки на МНЛЗ в электросталеплавильном цехе ООО «НЛМК-КАЛУГА»
6. Ассиил Кадхим Мохаммед, Харлашин П.С., Куземко Р.Д., Синельников В.О. Влияние нагрева несущего газа на параметры газопорошкового потока в фурме с переменным расходом
7. Баус С.С. Методологические основы автоматизации металлургической промышленности
8. Белов Б.Ф., Троцан А.И., Бродецкий И.Л. Разработка эффективных бесфтористых шлаков и комплексных ферросплавов для внепечной обработки стали
9. Белькова А.И., Скачко А.С., Гринько А.Ю. Критерии и соотношения для описания условий согласования расплавов в восстановительных условиях доменной плавки
10. Богушевский В.С., Скачок А.Э. Контроль шлакообразования при продувке кислородно-конвертерной плавки
11. Богушевский В.С., Сухенко В.Ю. Контроль уровня расплава в индукционной печи
12. Богушевский В.С., Сырбу Ю.И. Оптимизация себестоимости стали
13. Богушевський В.С., Каленчук М.В. Особливості утворення неметалевих включень в процесі отримання і обробки сталі
14. Бойченко Б.М., Васильев Д.П., Молчанов Л.С. Влияние антиоксидантов на изменение фазового состава рабочей зоны периклазоуглеродистых огнеупоров в конвертере

15. Бойченко Б.М., Низяев К.Г., Стоянов А.Н., Синегин Е.В., Молчанов Л.С. Исследование электропроводности шлакового расплава с целью оценки возможности влияния на скорость растворения материалов в шлаковой фазе
16. Боштанар А.Г., Молчанов Л.С., Бойченко Б.М., Низяев К.Г., Стоянов А.Н., Синегин Е.В. Влияние примесей цветных металлов на процессы десульфурации железуглеродистого расплава
17. Бровкин В.Л., Малыш И.И. Исследование энергоэффективности продольного излучения в нагревательной печи с шагающим подом
18. Бурбелко А.А., Виктор Т., Карбовничек М. Компьютерное моделирование давления в системе разлива МНЛЗ
19. Вей Синвень, Низяев К.Г., Стоянов А.Н., Молчанов Л.С., Синегин Е.В. Композиционные огнеупоры для современного производства металлов и сплавов
20. Вышинский В.Т. Особенности исследования механизма качания кристаллизатора сортовой МНЛЗ
21. Гасик М.И., Горобец А.П., Панченко А.И., Сальников А.С., Яковицкий А.В. Компьютерное моделирование термодинамики массообменных реакций в окисно-фторидных высокотемпературных шлаковых расплавах при внепечной обработке электростали
22. Герасименко В.Г., Мусунов Д.А., Синегин Е.В., Молчанов Л.С. Литейно-прокатные модули, как средство повышения конкурентоспособности отечественной металлургии
23. Герасименко В.Г., Синегин Е.В., Молчанов Л.С., Мусунов Д.А. Влияние внешнего динамического воздействия на структурную однородность непрерывнолитых слябов
24. Герасименко В.Г., Синегин Е.В., Молчанов Л.С., Пушкарёв А.А. Особенности перевода металлургических предприятий на непрерывную разливку стали
25. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Классификация пульсаторов в системах пульсационного сжигания топлива
26. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Применение пульсаций в технологических и энергетических процессах
27. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Расчётно-теоретическое определение резонансных частот

28. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Экспериментальное определение проходного сечения пульсатора в системе пульсационного сжигания топлива
29. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Экспериментальное определение резонансных режимов пульсаций
30. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Экспериментальное определение сопротивления пульсатора в системе пульсационного сжигания топлива
31. Гичёв Ю.А., Ступак М.Ю., Мацукевич М.Ю. Эффективность пульсационного сжигания топлива при сушке и разогреве сталеразливочного ковша
32. Головачев А.Н., Стовпченко А.П. Влияние изменения химического состава стали при кристаллизации на температуру ликвидус
33. Горбунов А.Д., Сигарев Е.Н., Семенова Д.А., Байдуж Ю.В. Решение тепловой задачи в рабочей полости конвертера методом Э.М. Гольдфарба
34. Гришин А.М. Термодинамические предпосылки окислительного обезуглероживания карбидов хрома в твёрдых фазах
35. Гришин А.М., Горделюк А.М. Твёрдофазное восстановление Cr_2O_3 в условиях химико-каталитического воздействия
36. Гришин А.М., Щеглова И.С. Термодинамический анализ газовой-углетермического восстановления Cr_2O_3 в твёрдых фазах с участием метана
37. Грищенко С.Г., С.М. Лупинос, Д. В. Прутцков О некоторых тенденциях развития гранульной металлургии титана
38. Двоглазова А.В., Бочка В.В., Сулименко С.Е., Сова А.В., Шафорост А.Н. Анализ термодинамических характеристик реакции разложения известняка
39. Деревянко И.В., Жаданос А.В. Теплофизическая модель взаимодействия углеродкарбидокремниевых брикетов с металлом-полупродуктом при внепечной обработке стали
40. Доморацкий В.А. Влияние скорости охлаждения на структурные характеристики Р6М5К5-МП
41. Ерёмин А.О., Гупало Е.В. Моделирование тепловой работы кольцевой печи при переменной производительности

42. Жаданос А.В., Дервянко И.В., Жулина В.Д. Исследование теплоэнергетических процессов производства карбида кремния в печи сопротивления на основе математического моделирования

43. Журавлева С.В., Мамешин В.С., Цибулько В.С. Квантитативная характеристика поливариантного механизма десульфурации металла в агрегате ковш-печь

44. Зотов Д.С., Костыря И.Н. Опыт использования карбида кальция в технологическом цикле выплавки конвертерной стали на ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

45. Зражевский А.Д., Дербенёв Д.В. Итоги работы металлургических предприятий Украины за 2015 год

46. Иванова О.С., Рыбак В.Н. Исследования и математическое моделирование поверхностного натяжения шлаков ЭШП

47. Иванов І.І., Матухно О.В. Формування екологічної культури персоналу як чинник підвищення ефективності виробництва

48. Кожанов Т.В., Ягольник М.В. Производство агломерата на основе металлургических отходов

49. Кравцов С.В., Мешкова А.Г., Малютіна В.Е., Кришин С.М. Характерні показники часткового оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище

50. Кузнецов М.С., Крячко Г.Ю. К вопросу о взаимозаменяемости характеристик реакционной способности и горячей прочности кокса для доменных печей

51. Кузьмичёв В.М., Перков О.Н. Новые технологические схемы производства железнодорожных колёс и колёсных центров

52. Ласкин В.М., Есаулова Ю.Р., Мельничук А.В. Восстановление изношенных поверхностей трубопрокатного инструмента

53. Макуров С.Л., Ефременко Б.В. Новый метод внешнего воздействия на формирование непрерывнолитых заготовок

54. Мамешин В.С., Журавлева С.В. Обобщённая оценка глубины проникновения звуковых струй в жидкость

55. Матухно О.В., Саввін О.В., Тимощенко В.В. Аналіз шляхів підвищення радіо-екологічної безпеки сировини, матеріалів та продуктів металургійного виробництва

56. Мельник С.Г., Бондарь В.И., Наривский А.В., Курпас В.И., Сычевский А.А. К вопросу о влиянии азота на качество конвертерной стали
57. Мельник С.Г., Назюта Л.Ю., Бакланский В.М., Курпас В.И., Быков Е.И., Богуцкий А.И. Производство штрипсовой стали категории X80 – X120 для магистральных газопроводов
58. Мешкова А.Г., Сухарева М.В., Матухно Е.В. К вопросу повышения экологической безопасности литейного производства
59. Михайловская А.М., Гнатенко О.В, Наумик В.В. Оптимизация состава жаропрочного сплава ЖС32-ви на никелевой основе
60. Молчанов Л.С., Гаркаленко Д.М., Синегин Е.В. Перспективы десиликонизации чугуна на металлургических предприятиях Украины
61. Молчанов Л.С., Нізяєв К.Г., Бойченко Б.М., Стоянов О.М., Синегін Є.В. Особливості визначення складу екзотермічної суміші для алюмотермічного відновлення магнію
62. Москалина А.А., Сохацкий А.А., Чайка А.Л. Исследование влияния марок углей для приготовления пылеугольного топлива на эксергетические и теплоэнергетические показатели доменной плавки
63. Назюта Л.Ю., Костыря И.Н., Денисенко В.С. Вакуум-углеродное раскисление – основной инструмент снижения расхода раскислителей
64. Назюта Л.Ю., Орличенко М.П., Костыря И.Н., Калита И.А. Особенности технологии раскисления и микролегирования титаносодержащих сталей
65. Назюта Л.Ю., Орличенко М.П., Христенко М.А. Перспективы выплавки трубной стали X80-X100 в условиях «МК Азовсталь»
66. Низяев К.Г., Лантух А.С. Исследование гидродинамики ванны при моделировании продувки в кислородном конвертере
67. Низяев К.Г., Стоянов А.Н., Молчанов Л.С. Оценка загрязнения стали неметаллическими включениями
68. Низяев К.Г., Цибулько В.С., Молчанов Л.С., Стоянов А.Н., Синегин Е.В. Продувки металла аргоно-кислородной смесью переменного состава при производстве стали в подовых агрегатах
69. Пантейков С.В., Пантейкова Е.С. Математическая модель термонапряжённого состояния огнеупоров днища кислородного конвертера с учётом их ошлакования

70. Пантейков С.В., Семерунина Л.П. О термических напряжениях, возникающих в огнеупорном материале блоков SA-фурм конвертеров комбинированного дутья

71. Петрищев А.С., Григорьев С.М. Особенности физико-химических свойств металлизированного молибденового концентрата, как ресурсосберегающей легирующей добавки

72. Полещук В.М., Бровкин В.Л., Витер Т.О. Окажинообразование при разливке стали на сортовых МНЛЗ

73. Полетаев В.П., Похвалітій А.А. Оптимізація температурного режиму безперервної розливки конвертерної сталі в умовах ПАТ «ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ»

74. Пономаренко Д.В. Снижение окисленности металла при выплавке стали в дсп в условиях МЗ «ДНЕРОСТАЛЬ»

75. Похвалитый А.А., Кулик А.Д., Полетаев В.П., Кашеев М.А., Кочмола Д.С. Обработка инертным газом стали в летке конвертера

76. Пушкарьов А.О., Герасименко В.Г., Синегін Є.В. Підвищення ефективності обробки сталі в проміжному ковші шляхом вдосконалення технології використання асимілюючої шлакоутворюючої суміші

77. Савиновский Р.В. Способы получения оптимальных ковшевых шлаков при внепечной обработке стали на участке конвертер – адс

78. Сергеева Е.А., Дрей Е.А. Реализация ЭШП со встречным движением кристаллизатора и электрода

79. Сергеева К.О., Гришко С.В. Електронно-променевий переплав цирконієвих заготовок

80. Сергеева К.О., Золотухін С.С. Отримання великогабаритних плоских зливків з титану методом електронно-променевої плавки

81. Синегин Е.В., Скляр Е.В., Бойченко Б.М., Герасименко В.Г., Молчанов Л.С. Совершенствование технологии использования инокуляторов в кристаллизаторе

82. Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Кривцун І.В. Ковшове комплексне рафінування розплаву у ковшы з обертовою фурмою

83. Снигура И.Р., Тогобицкая Д.Н. Исследование температур ликвидус и солидус жаропрочных никелевых сплавов на основе параметров межатомного взаимодействия

84. Сова А.В., Бочка В.В., Двоєглазова А.В., Суліменко С.Е., Ніколенко А.Д. Вдосконалення конструкції завантажувального пристрою для барабану-стабілізатора

85. Стоянов А.Н., Низяев К.Г., Молчанов Л.С., Синегин Е.В. Исследования рафинирующих свойств самоплавких смесей для внепечной обработки стали

86. Стоянов А.Н., Низяев К.Г., Салей А.А., Молчанов Л.С., Синегин Е.В. Термодинамический анализ условий десиликонизации чугуна

87. Стоянов А.Н., Низяев К.Г., Салей А.А., Синегин, Е.В., Молчанов Л.С. Результаты моделирования процесса дефосфорации чугуна

88. Ступак Ю.А. О возможностях использования бурых углей украинских месторождений в черной металлургии

89. Цюпа Н.А., Тогобицкая Д.Н., Степаненко Д.А. Проблема «щелочной агрессии» в доменной печи и возможности эвакуации K_2O и Na_2O со шлаком

90. Чайка А.Л., Цюпа К.С., Сохацкий А.А., Корнилов Б.В., Шостак В.Ю., Гоман С.В., Фоменко А.П. Влияние конструкции футеровки и систем охлаждения шахты доменных печей ПАО «ЗАПОРОЖСТАЛЬ» на их износостойкость при применении пылеугольного топлива

91. Шишко Ю.В., Лугова Ю.М. Дослідження впливу режимних параметрів на інтенсивність утворення шкідливих речовин при сумісному використанні вугілля та біомаси

92. Юшкевич П.О., Вакульчук В.В., Дудченко С.А. Направление совершенствования технологии дожигания отходящих газов в конвертерах с комбинированной продувкой

93. Ясев А.Г. Моделирование разделения пластин из композиционных материалов

МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ИЗВЕСТИ И ПЕРИКЛАЗА В ОСНОВНЫХ ШЛАКАХ

Основные шлаки, сформированные в промежуточном ковше (промковше) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), способны удалять из стали водород. Для успешной корректировки их состава необходимы знания лимитирующих стадий как процессов растворения твёрдых материалов, вносящих в шлак основные оксиды, так и процессов износа торкрет-слоя футеровки, состоящего, главным образом, из MgO.

Общая динамика процессов растворения твёрдых тел в расплавах определяется соотношением скоростных возможностей звеньев внешнего и внутреннего массообменов. Общим характером отличается и зависимость скорости рассматриваемых процессов от скорости движения жидкости относительно поверхности твёрдой фазы: при скорости движения выше некоторой критической величины ($U_{кр}$) интенсивность растворения не зависит от скорости движения жидкой фазы в связи со сменой лимитирующего звена (переход в область торможения внутренним массообменом).

Поэтапно опишем каждый из видов массообмена. На основании микрорентгеноспектральных исследований авторов на рис. дана общая схема массообменных процессов при растворении твёрдых пористых частиц, каковыми являются материалы, содержащие основные оксиды.

Для случаев растворения в шлаковом расплаве частиц твёрдых материалов, увлекаемых циркуляционными потоками, получаем:

$$U_{кр} = 0,17 \frac{n_{R,A} \cdot m_P \cdot C_{R,1} \cdot A \cdot \sigma \cdot \cos\theta \cdot d_{эф} \cdot d^{1/2}}{l \cdot v^{5/6} \cdot \rho_{жс}^{1/3} \cdot \Delta C \cdot D^{2/3} \cdot d \cdot \Delta\rho^{2/3}}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

Для случаев прямого обтекания жидкими фазами неподвижных твёрдых материалов:

$$\sqrt{U_{кр}} = 0,16 \frac{n_{R,A} \cdot m_P \cdot C_{R,l} \cdot A \cdot \sigma \cdot \cos \theta \cdot d_{эф} \cdot d^{1/2}}{l \cdot \nu^{5/6} \cdot \rho_{ж} \cdot \Delta C \cdot D^{2/3}}, \text{ м/с.} \quad (2)$$

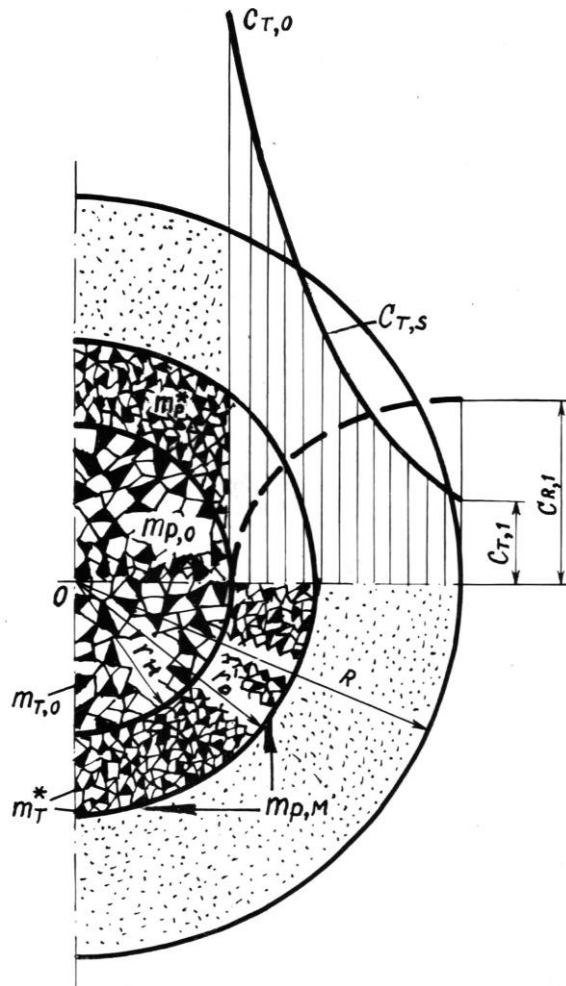


Рис. Схема массообменных процессов при растворении в жидкой фазе твёрдой сферической частицы с развитой пористостью: r_n – радиус неизменной зоны; m_T – доля объёма, занятая растворяющимся твёрдым веществом; $m_{p,o}$ – объёмная доля пор, могущих быть заполненными жидкостью; m_p^* – объёмная доля пор, заполненных растворителем; $m_{p,m}$ – пористость максимальная в конце растворения; C_T, C_R – концентрация в жидкости соответственно растворяющегося вещества и растворителя, кг/м³; индексы “O”, “S” и “l” означают принадлежность состояниям: исходному, насыщения и вне частицы.

В уравнениях (1,2):

$n_{R,A}$ – масса растворителя R, расходуемая на единицу массы твёрдого тела; A – коэффициент, учитывающий особенности взаимодействия в паре; σ – поверхностное натяжение проникающей жидкости, Дж/м²; θ – угол смачивания твёрдого тела проникающей жидкостью, град; $d_{эф}$ – эффективный (осреднённый) диаметр поры, м; d – характерный размер твёрдого тела, м; $l = r_o - r_n$ – глубина пропитки, м; ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; $\Delta C = C_{T,D} - C_{T,l}$ – градиент концентрации растворяющегося вещества; D – коэффициент его молекулярной диффузии в жидкости, м²/с; $\Delta \rho$ – разность плотности твёрдого тела и жидкости, кг/м³.

INTERACTION BETWEEN NON-METALLIC INCLUSION AND SLAG

The non-metallic inclusions are assimilated by slag in the tundish and CCS crystallizer during the refining process. The following slag-phase elements participate in this process:

- converter slag, which entered the ladle upon pouring,
- slag-forming mixtures in the form of synthetic slags or mould powders purposefully introduced to the ladle,
- steel deoxidation products, which nucleate then flow out and are assimilated by slag,
- elements of worn out refractory lining of ladles and ceramic casing as well as the products of secondary steel oxidation, a result of contact of open metal surface with atmosphere or oxidizing slag.

The assimilation of non-metallic particles by slag is determined by such parameters as: viscosity of slag, density of non-metallic inclusion and of slag, interfacial tension: non-metallic inclusion/slag σ_{IS} , non-metallic inclusion/steel σ_{IM} , steel-slag σ_{MS} .

A system of forces is acting on a particle: gravity force and capillary force, which are oriented downward, also buoyancy, taking the opposite direction and viscous drag force.

buoyancy force $F_b = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot (\Delta_b \cdot \rho_s - \rho_i) \cdot g$

capillary force $F_\sigma = (-2 \cdot \pi \cdot R + 2 \cdot \pi \cdot Z) \cdot \sigma_{MS} + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma_{IS} - 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma_{IM}$

viscous drag force $F_{VIS} = 6 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta_s \cdot B \cdot \frac{dZ}{dT}$

As a result of operation of these forces the particle remains in the lowest layer of slag, where it can be dissolved partly or completely, or it may be moved back to metal and entrained by the steel flow. A necessary condition for an inclusion to penetrate slag is appropriate energy resulting from the outflow velocity.

The results of calculations of the capillary force acting on a non-metallic particle in the vicinity of the liquid steel-slag interface and the inclusion's position are

presented in figs. 1 ($r = 10 \mu\text{m}$). The simulations were made for various values of surface energy on the liquid steel and slag contact, at a constant energy of the inclusion-slag and inclusion-liquid steel interfacial tension $\sigma_{\text{IM}} = 1.5 \text{ N/m}$, slag-inclusion interfacial tension $\sigma_{\text{IS}} = 0.1 \text{ N/m}$, and 3 various values of surface energy on the liquid steel and slag contact: variant 1: $\sigma_{\text{MS}} = 0.8 \text{ N/m}$, variant 2: $\sigma_{\text{MS}} = 0.6 \text{ N/m}$, and variant 3: $\sigma_{\text{MS}} = 1.0 \text{ N/m}$.

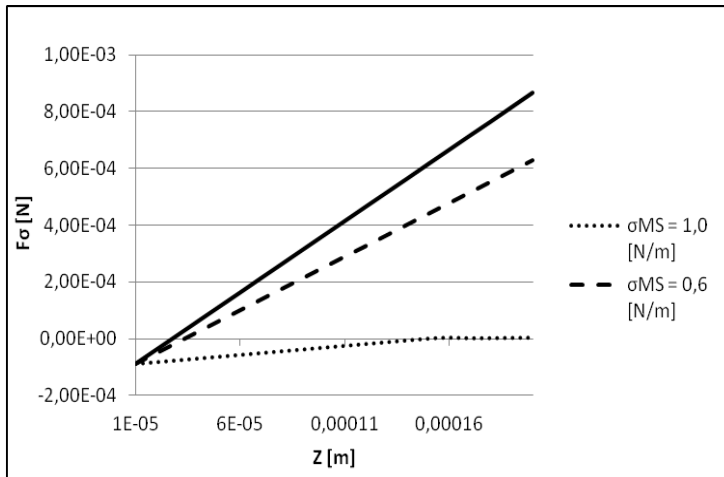


Fig. 1. Calculated capillary force F_{σ} acting on inclusion particle of radius $r = 0.00001 \text{ [m]}$ in the vicinity of interfaces for surface energy: $\sigma_{\text{MS}} = 1.0 \text{ [N/m]}$, $\sigma_{\text{MS}} = 0.8 \text{ [N/m]}$ and $\sigma_{\text{MS}} = 0.6 \text{ [N/m]}$ against coordinate Z .

The aggregation of particles in bigger groups enhances the process of their removal from steel, thus increasing the metallurgical purity and quality of ready products. The main forces acting on the non-metallic particle, i.e. capillary force and buoyancy depend on the position and size of the particle. The value of the capillary force acting on the particle increases as the inclusion approaches the interface; the change of steel-slag surface energy does not change this trend. The analysis of calculation results of capillary force acting on a particle in the vicinity of the steel-slag interface at changing surface energy values between inclusion and slag show that capillary force depends on the interfacial tension between inclusion and slag only to a small degree.

This work was sponsored by Ministry of Science as the statute work – AGH UST - University of Science and Technology in Krakow (contract 11.11.170.318.14).

References

1. Kalisz D. Termodynamiczna charakterystyka powstawania fazy niemetalicznej w ciekłej stali, Krakow 2013, p. 193.
2. Kalisz D. Interaction of non-metallic inclusion particles with advancing solidification front // Archives of Metallurgy Materials. – № 59, 2. – 2014. – P. 499.

INTERACTION BETWEEN NON-METALLIC AND SOLIDIFICATION FRONT

The process of steel solidification in the CCS crystallizer is accompanied by a number of phenomena relating to the formation of non-metallic phase, as well as the mechanism of its interaction with the existing precipitations and the advancing crystallization front. In the solidification process the non-metallic inclusions may be absorbed or repelled by the moving front. As a result a specific distribution of non-metallic inclusions is obtained in the solidified ingot, and their distribution is a consequence of these processes. The interaction of a non-metallic inclusion with the solidification front was analyzed for alumina, for different values of the particle radius. The simulation was performed with the use of own computer program. Each time a balance of forces acting on a particle in its specific position was calculated. On this basis the change of position of alumina particle in relation to the front was defined for a specific radius and original location of the particle with respect to the front.

Physically this phenomenon describes a system of forces acting on a particle and from which we have a velocity vector. In a situation corresponding to the conditions of COS crystallizer, the following system of forces acts on a particle:

– force of gravity:
$$F_g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 (\rho_m - \rho_{cz}) \cdot g$$

– viscous resistance force
$$F_d = 6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r \cdot V_p \cdot \theta$$

Coefficient θ depends on the direction of the particle and its distance from the front h : for particles distant from the front: $\theta = 1$, for particles approaching the front:

$\theta = \frac{r}{h}$, for particles moving parallel to the front: $\theta = \ln\left(\frac{r}{h}\right)$

– Saffman force:
$$F_S = 6.46 \cdot \mu \cdot r^2 \cdot V_{cz} \cdot \sqrt{\frac{S}{\nu}}$$

– Mukai force:
$$F_M = -\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{\partial \sigma_{I-I}}{\partial z}$$

Particle movement near to crystallization front may be described with the following mathematical model:

$$a = \frac{|F_w(F_s, F_g, F_d, v)|}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{cz}} \quad \begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_x, \\ v_x(t=0) = v_x^0 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{dv_y}{dt} = a_y, \\ v_y(t=0) = v_y^0 \end{cases}$$

Resultant F_w force are calculated: $|F_w| = \sqrt{|F_g|^2 + |F_d|^2}$

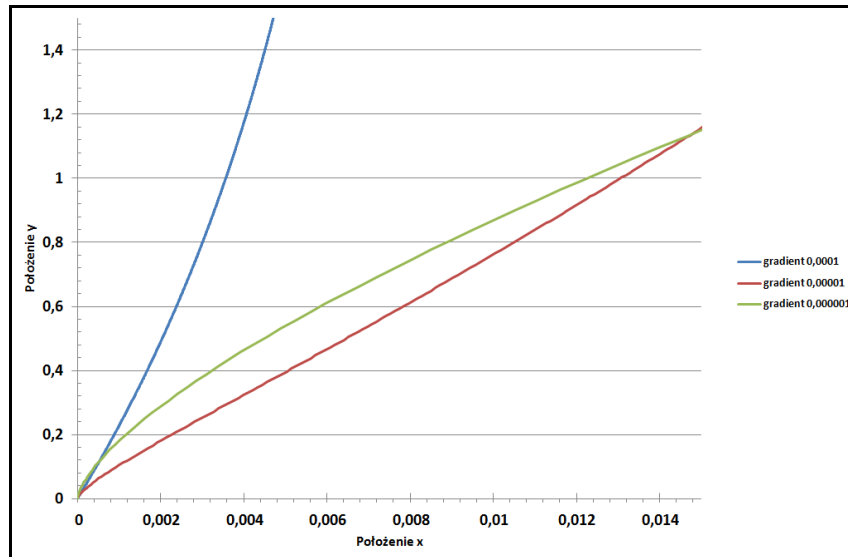


Fig. 1 Influence of local gradient of velocity on the movement of particle of radius 100 μm

The analysis of movement of a particle in the neighborhood of the solidification front allowed authors to distinguish a few cases of interaction. The pushing of particles towards the front was applicable mainly to large gradients of velocity, also the pushing of particles towards the front was observed only for high gradients; however the flotation of inclusions, especially at a very small gradient of velocity, was considerably smaller. The most complex case was the interaction of particles moving towards the front. In this case the high gradient did not favor assimilation of particles by the solidification front, especially in reference to small inclusions.

This work was sponsored by Ministry of Science as the statute work – AGH UST - University of Science and Technology in Krakow (contract 11.11.170.318.14).

References

1. *Kalisz D.* Termodynamiczna charakterystyka powstawania fazy niemetalicznej w ciekłej stali, Krakow 2013, p. 193.
2. *Kalisz D.* Interaction of non-metallic inclusion particles with advancing solidification front, Archives of Metallurgy Materials, 59, 2, 2014, p. 499.

УДК 621.73.002. 5 (075.8)

С. А. Абрамов, В. С. Гришин, Е. П. Морозенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ МЕДНЫХ ИЗДЕЛИЙ В МЕТАЛЛУРГИИ

Для обеспечения технологий выплавки чугуна, стали и других металлургических процессов применяют агрегаты, в которых широко используют различные типы конструкций изделий из меди и медных низколегированных сплавов – это охлаждающие плиты, фурмы для печей доменного дутья, наконечники фурмы для кислородных конвертеров, электрододержатели и контактных клеммы, сборные кристаллизаторы линий для непрерывного литья и т.п. Это обусловлено не только высокими тепло- и электропроводностью, но и высокой устойчивостью к коррозии и пластичностью меди, что позволяет использовать её для компенсации расширений и сжатий огнеупорной футеровки, вызванных значительными деформациями холодильных камер [1].

Детали и узлы металлургических агрегатов работают в сложных эксплуатационных условиях. При этом они испытывают множество нагрузок, возникающих из-за термических воздействий, действия контактных напряжений, возникающего сложно деформированного состояния и износа поверхностных слоев, микровоздействий частиц пыли, песка и других элементов. Эти воздействия отрицательно влияют на эксплуатационные свойства медных изделий. Поэтому разработка мероприятий повышения их надёжности на основе обеспечения заданных, требуемых или предельных свойств функциональных элементов изделий и меди является актуальной проблемой. Особенно важным этапом производства этих изделий является разработка и реализация технологического процесса их изготовления, именно на этом этапе формируются их необходимые свойства для необходимых эксплуатационных функций.

Можно отметить, что применяемые в настоящее время технологии и приёмы изготовления этих важных элементов металлургических агрегатов не в полной мере обеспечивают необходимые их эксплуатационные свойства для

определенных условий работы. Вместе с тем, непрерывный технический прогресс требует дальнейшего повышения эксплуатационных свойств металлургических агрегатов и их элементной базы. Решение этих вопросов возможно на основе применения для изготовления элементной базы агрегатов, а именно для производства водоохлаждаемых узлов, функционально-ориентированных технологий.

Функционально-ориентированные технологии относятся к новому классу технологий, обеспечивающих возможность реализации качественно новой совокупности свойств изделий, в том числе водоохлаждаемых узлов и деталей металлургических агрегатов [2].

Для традиционных функционально-ориентированных технологий технологический процесс их синтеза основывается на выполнении двух этапов: деление изделия на исполнительные поверхности и составление структуры технологического процесса. При этом каждое изделие на исполнительные поверхности и только для них составляется технологический процесс.

Функционально-ориентированные технологические процессы, которые базируются на новом подходе, и включают в себя выполнение трёх основных этапов их синтеза. Первым этапом является анализ эксплуатационных особенностей изделий и составление структуры функций. Второй этап – деление изделия на функциональные элементы по уровням «глубины технологии» и классификация. В третий этап включены формирование структуры или маршрута технологического процесса на базе особых принципов ориентации.

Список литературы

1. Высоконадёжное металлургическое оборудование в ресурсосберегающих технологиях /В.И. Большакову, А.П. Иващенко, А.Г. Величко и др. – Днепропетровск: Институт технологии. 2000-22с.

2. Михайлов А.Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. труд. XIV междун. научно-технич. Конференции, Донецк: ДонНТУ, 2007. Т. 3. С. 38-52.

А. В. Андриенко

ГП УКРГИПРОМЕЗ, г. Днепропетровск

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ ДЛЯ РАЗЛИВКИ НА МНЛЗ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ЦЕХЕ ООО «НЛМК-КАЛУГА»

Специалистами ГП «Укргипромет», при содействии заказчика – специалистов ООО «НЛМК-Калуга» и управляющей компании ОАО «НЛМК», была разработана проектная документация и в настоящее время завершено строительство, и с 2013 г введена в эксплуатацию первая очередь электрометаллургического завода по изготовлению сортового проката производительностью до 1,0 млн. тонн в год. Марочный сортамент выплавляемой в электросталеплавильном цехе стали ориентирован на обеспечение исходной литой заготовкой мелкосортного и среднесортного прокатных станов. Для производства арматуры и мелкого профильного проката в электросталеплавильном цехе предусматривается выплавлять углеродистую, арматурную и низколегированную сталь.

Технологическое оборудование сталеплавильного комплекса с системами управления поставлено комплектно, компанией «SIEMENS VAI». В составе I-ой очереди строительства в ЭСПЦ установлено следующее основное технологическое оборудование фирмы «SIEMENS VAI»: дуговая сталеплавильная печь ДСП-120 с массой плавки 120 т, оснащенная трансформатором мощностью 150 МВА; двухпозиционная установка ковш-печь; восьмиручьевая сортовая МНЛЗ № 1 для отливки квадратной заготовки сечением 125×125 мм и 150×150 мм.

Сталь, полученная в ДСП-120, в полном объеме подлежит внепечной обработке – с целью доводки ее до заданного химического состава и температуры перед разливкой на машинах непрерывного литья заготовок. Участок внепечной обработки расположен в раздаточном пролет ЭСПЦ, Пролёт обслуживается двумя мостовыми электрическими литейными кранами грузоподъемностью 200+63/20 т с отметкой головки подкранового рельса +25,0 м. Внепечная обработка стали осуществляется на двухпозиционной установке ковш-печь, оснащенной трансформатором мощностью 20 МВА, включающая два сталевоза, два водоохлаждаемых свода и одну поворотную

систему нагрева с электродами, что обеспечивает две рабочие позиции для обработки металла в ковше. В состав оборудования участка внепечной обработки также входят: сталевоз самоходный г/п 190 т для транспортировки ковша на участке УКП, оборудованный системой управления и взвешивающим устройством – 2 шт.; оборудование для донной продувки ковша аргоном в составе клапанного стенда, гибких шланговых соединений, трубопроводов; оборудование для аварийной продувки ковша аргоном («сверху», через свод, в случае закупоривания донных пробок) в составе погружной фурмы, манипулятора, гибких шланговых соединений, трубопровода; система подачи в ковш присадочной проволоки при помощи двухручьего трайб-аппарата – 2 шт. (для двух рабочих позиций); устройство для замера температуры металла и отбора проб металла в составе ручного манипулятора и двойной погружной фурмы, оснащенной соответствующими измерительными зондами; стенды для хранения и свинчивания электродов (на 4 места); механизированная система подачи сыпучих материалов и ферросплавов в составе: бункерной эстакады из 10-ти расходных бункеров, вибрационных питателей, датчиков уровня материалов, системы ленточных конвейеров, направляющих течек, оборудования аварийного сброса материалов; установка вдувания извести (типа «Штайн») в составе: силоса емкости ~25 м³, инжекторной установки с весодозирующим бункером и системой управления, пневмопроводов, фурмы; рабочая и обслуживающие площадки, опорные металлоконструкции.

На установке ковш-печь (УКП) производится комплексная доводка стали в ковше с выполнением следующих технологических операций: нагрев металла до оптимальной температуры разливки; усреднение химического состава и температуры металла в объеме ковша; легирование с точным доведением химического состава металла до заданного; раскисление металла; удаление неметаллических включений; десульфурация металла. Управление процессом доводки стали и механизмами УКП осуществляется с поста управления. Продолжительность обработки одного ковша на УКП составляет 50÷53 минут.

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НЕСУЩЕГО ГАЗА НА ПАРАМЕТРЫ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКА В ФУРМЕ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ

Актуальность проблемы. Внедрение факельного торкретирования, когда к соплам фурмы кислородного конвертера подают подготовленную смесь огнеупорного порошка и топлива (уголь или кокс), на ПАО «ММК им. Ильича» обеспечило повышение стойкости защитной футеровки более, чем в 2 раза. Однако практика обогнала теорию – математические модели течения газозвеси в фурме с переменным расходом по длине ещё недостаточно отработаны, для решения этой проблемы требуется более строгий научный подход [1,2].

Физическая модель. По трубе диаметром D перемещается высокоплотный газодисперсный поток и на длине фурмы l часть его массы выводятся через сопла на разных уровнях. Торкрет-фурма может быть газоохлаждаемой и тогда её корпус служит теплообменником, где газозвесь нагревается и повышается его кинетическая энергия при истечении.

Математическая модель. Модель включает систему уравнений движения и энергии. Например, для равновесного течения в фурме с переменным расходом эти уравнения имеют вид:

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{d}{dx}(G_{12}w_{12}) - F_w + \rho_{12}g - \chi w_{12}; \quad (1)$$

$$w_{12} \frac{dp}{dx} = -\frac{d}{dx}(G_{12}c_p T) + Q_w - \chi c_{p12} T, \quad (2)$$

где p – статическое давления, Па; G_{12} – приведенный расход газозвеси, кг/(с·м²); w_{12} , ρ_{12} , c_{p12} – скорость, м/с; плотность, кг/м³; теплоёмкость Дж / (кг · К), равновесной газодисперсной смеси; χ - интенсивность уменьшения расхода смеси по длине канала, кг/(с·м³); F_w – приведенная сила трения о стенку, Н/м³; Q_w – теплота, передаваемая конвекцией от стенки к дисперсному потоку, Вт/м³.

Система замыкающих соотношений включает ~ 20 уравнений.

Исходные данные. Расход несущего газа (N_2) составлял $V_H = 480 \text{ м}^3/\text{ч}$, расход порошка принимали равным $m_2 = 400 \text{ кг/мин}$, чему соответствовала массовая концентрация $\mu = 40 \text{ кг/кг}$. Эквивалентный диаметр частиц $\delta_2 = 0,1 \text{ мм}$, их плотность $\rho_2 = 1900 \text{ кг/м}^3$, гидравлический диаметр трубы торкрет-фурмы $D = 90 \text{ мм}$, длина обогреваемой части фурмы $l = 10 \text{ м}$, число сопел на одном уровне $n = 2$, количество уровней $z_1 = 3$, внутренний диаметр сопла $D_0 = 38 \text{ мм}$, коэффициент потерь Михаелидиса $K = 0,058$. Температуру пылегазового потока на входе задавали $t_{01} = 30^\circ\text{C}$, но если $t_w > 30^\circ\text{C}$ (изменяли в диапазоне $30 - 700^\circ\text{C}$), то температуру t газозвеси в каждом контрольном сечении рассчитывали численно.

Анализ полученных результатов. Из рисунка, который приводится в качестве примера, видно, что с нагревом газозвеси резко повышается давление p в каждом сечении торкрет-фурмы. Так, если газопорошковую смесь разогреть от $t = 30^\circ\text{C}$ до $t = 700^\circ\text{C}$, давление p перед фурмой возрастает с $0,46$ до $0,81 \text{ МПа}$.

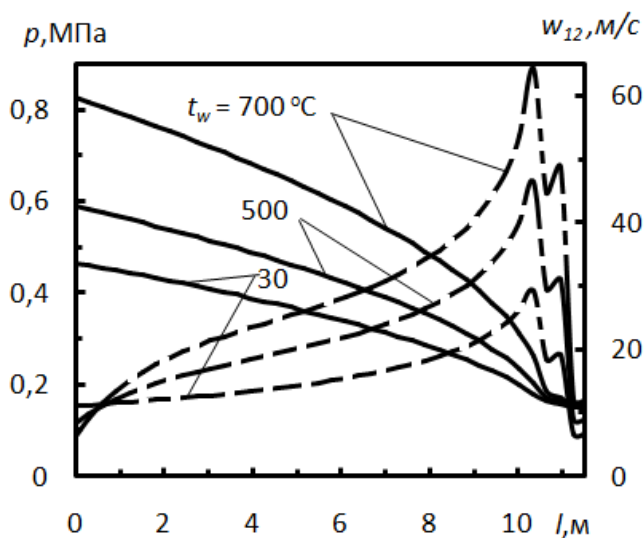


Рисунок. Влияние температуры t_w стенки трубы на распределение статического давления p (—) и скорости w_{12} (---) газозвеси по длине торкрет-фурмы l с тремя уровнями расхода.

Исходные данные: $D = 98 \text{ мм}$; $l = 12 \text{ м}$; $\delta = 0,1 \text{ мм}$; $\rho_2 = 1900 \text{ кг/м}^3$; $m_2 = 400 \text{ кг/с}$; $V_H = 480 \text{ м}^3/\text{ч}$; $t_w = 300^\circ\text{C}$; $z = 3$, $n = 2$; $\mu = 40 \text{ кг/кг}$; $D_0 = 39 \text{ мм}$.

Из рисунка также видно, что в фурме постоянного сечения с тремя уровнями вывода торкрет-массы происходит резкое снижения скорости w_{12} газозвеси. Характерно, что с нагревом дисперсного потока в фурме повышается энергетический потенциал потока перед соплами.

Таким образом, предварительный нагрев газозвеси в торкрет-фурме позволяет ранее теряемую через горловину конвертера теплоту использовать для повышения мощности истекающих струй, улучшения сваривания огнеупорного порошка с разогретой футеровкой кислородного конвертера. Упрощается конструкция фурмы и подводящих пневмопроводов.

Список литературы

1. Харлашин П.С. Влияние концентрации порошка на течение газозвеси в торкрет – фурме 160 т конвертера/ Ассиил Кадхим Мохаммед, А.К. Харин, Р.Д. Куземко// Сталь. – 2015. – №4. – С. 21 – 25.

УДК 628.5

С. С. Баус

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск (Россия)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Особенностью всех автоматизированных систем, внедряемых на заводы черной и цветной металлургии, можно считать системный подход ко всем происходящим процессам в рамках предприятия. К ним относят теплотехнические, экологические, металлургические и управленческие процессы. Важно построить не только управление тепловыми процессами, но и наладить их бесперебойное протекание [1]. Это существенно повышает качество выпускаемого продукта, экономит расходы и увеличивает производительность.

Задачи автоматизированной системы управления в металлургической промышленности:

1. Установка и настройка рациональных режимов работы предприятия и каждого его отдельного технологического процесса [2].
2. Поддержание исправной работы заданного режима деятельности предприятия.
3. Повышение качества выпускаемого продукта за счет снижения затрат, аварийных ситуаций, простоев и других неблагоприятных факторов.

В металлургической промышленности оправдано введение комплексной автоматизации, которая позволяет подчинить единому управленческому центру все сферы деятельности предприятия. Это касается отдела поставки сырья, системы загрузки компонентами доменной печи, выпускных линий, учетной сферы, технического контроля и т.д.

Обычно MES система охватывает следующие задачи:

- распределение и контроль статуса ресурсов (построение модели производства, централизованное хранение, быстрый и удобный поиск данных по спецификациям сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и упаковки, адресов поставщиков, норм качества, законодательных документов и т.д.);
- диспетчеризация и сбор данных;
- управление качеством и техническим обслуживанием [3];
- анализ производительности (статистический и математический анализ, контроль производительности процесса);
- составление производственных расписаний;
- контроль документов (электронный документооборот);
- управление трудовыми ресурсами (управление персоналом);
- координация технологических процессов и отслеживание готовой продукции.

Автоматизация вакуумнодуговых печей позволит проводить плавки в полностью автоматическом режиме, включая все этапы (зажигание дуги, разогрев электрода, переправление, вывод усадочной раковины, подъем электрододержателя, окончание плавки, формирование отчета). За счет автоматического ведения плавки кристаллизующийся слиток формируется однородным.

Программное обеспечение для создания автоматизированной системы управления на предприятиях металлургической отрасли должны затрагивать следующие технологические процессы:

1. Автоматизированная система управления коксохимического производства.
2. Автоматизированная система управления агломерационно-известкового производства.
3. Автоматизированная система управления доменного цеха, состоящего из нескольких печей одновременно.

Из полученного опыта уже давно доказано, что автоматизация технологических процессов на предприятиях цветной и черной металлургии должна не только повысить качество выпускаемого продукта, но и снизить затраты на оплату обслуживающего персонала, повысить производительность и эффективность хозяйствующего объекта за счет снижения случаев простоя,

аварийных ситуаций, а также создать современное экологически безопасное производство.

Список литературы

1. *Мирошник, И. В.* Теория автоматического управления. Линейные системы / И. В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.

2. *Горенский, Б. М.* Автоматизированные системы имитационного управления объектами цветной металлургии : монография / Б. М. Горенский; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 2002. – 152 с.

3. ИТ в металлургии [электронный ресурс], 2015.
<http://www.pcweek.ru/business/article/detail.php?ID=104425>

4. Отраслевое решение: разработка и применение АСУ ТП в металлургической промышленности [электронный ресурс], 2015. <http://it-rostov.ru/resheniya/metalurgich-prom/>

5. Автоматизация технологических процессов цветной металлургии на основе имитационных [электронный ресурс], 2015.
<http://www.dissercat.com/content/avtomatizatsiya-tehnologicheskikh-protsesov-tsvetnoi-metallurgii-na-osnove-imitatsionnykh-#ixzz3mCiiNzXx>

УДК 669.13:669

Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, И. Л. Бродецкий

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ БЕСФТОРИСТЫХ ШЛАКОВ И КОМПЛЕКСНЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Растущие требования к качеству продукции и необходимость снижения производственных затрат требуют совершенствования существующих сталеплавильных технологий. Одним из решений является внепечная обработка расплавов эффективными жидкотекучими адсорбционноемкими плавильными и ковшевыми шлаками, а также ферросплавами и лигатурами с использованием материалов из отходов горнорудной и металлургической промышленности.

Жидкотекучесть используемых шлаков зависит от их состава и может регулироваться за счет присадочных материалов – разжижителей, в частности, плавикового шпата (CaF_2). Однако подобные шлаки являются лишь физическими адсорбентами вредных примесей, но не вступают с ними в химическое взаимодействие, которое определяет степень их адсорбционной емкости, повысить которую можно, обеспечив в них заданную степень структурно-химического разупорядочения (т.е. перевести в активированное состояние) и максимальный уровень эвтектичности.

Данная проблема решается на основе представлений теории металлургических гармонических структур (теория МГС - фаз), являющейся развитием кластерных моделей строения жидких металлов и теории ассоциированных шлаковых и металлических растворов [1].

Разрабатываемые плавильные шлаки разжижаются не CaF_2 (дефицитным и экологически вредным), а присадками алюмосиликатных бесфтористых флюсов из вторичного сырья (продукты обогащения полиметаллических руд - ставролит, дистен - силлиманит) и отходов огнеупорной футеровки, способных образовывать эвтектики с компонентами шлаков.

Высокая адсорбционная способность предлагаемых шлаков достигается путем их раскисления химическими элементами (C, Si, Al и др.) с высоким сродством к кислороду, что обеспечивает достижение в них максимальной степени эвтектичности и структурно-химического разупорядочения при данной температуре жидкого металла. Разработанные оптимальные составы ферросплавов и лигатур представляют собой интерметаллиды, которые плавятся конгруэнтно и стабильны в области гомогенности жидких и твердых растворов (таблица 1).

Таблица 1 – Бесфтористые шлаки повышенной адсорбционной емкости, эффективные алюмосиликатные флюсы и сплавы интерметаллидов

Состав *	Физико-химические характеристики **
Доменные плавильные и ковшевые шлаки	
Плавильные магнезиальные $12\text{SiO}_2\text{4MgO14CaO2CaS}$ (39,8/8,8/43,4/8,0)	$B_0 = 1,1$; $A_S = 3,5 \%$; $T_{\text{л}} \geq 1400 \text{ }^\circ\text{C}$;
Плавильные глиноземистые $10\text{SiO}_2\text{2Al}_2\text{O}_3\text{4MgO14CaO2CaS}$ (31,7/10,8/8,5/ 41,4/ 7,6)	$B_0 = 1,3$; $A_S = 3,4 \%$; $T_{\text{л}} \leq 1400 \text{ }^\circ\text{C}$;
Ковшевые на базе мервинита	$B_0 = 1,24$; $A_S = 3,25 \%$;

16CaO12SiO ₂ 8MgO2MgS (43,8/35,2/15,6/5,4)	T _л ≤ 1300 °С
Конвертерный плавильный шлак	
На базе силиката 3CaOSiO ₂ , повышенной адсорбционной емкости к сере и фосфору SO ₃ P ₂ O ₅ 40SiO ₂ 120CaO20MgO12MnO28FeO (0,6/1,1/18,4/51,7/6,2/6,5/15,5)	B ₀ = 2,8; A _S = 0,25 %; A _{P₂O₅} = 1,1 %; T _л ≥ 1500 °С
Конвертерный ковшевой шлак	
Вторичный ферроалюминий марки ФА30 (8-20) + шамот (25-35) + обожженный доломит – остальное	B ₀ = 1,87 A _S ≥ 3,0 %; T _л ≤ 1350 °С
Бесфтористые алюмосиликатные флюсы	
Шамот - Al ₂ O ₃ 3SiO ₂ (36,2/63,8); Ставролитовый концентрат - 2Fe ₂ O ₃ TiO ₂ 10Al ₂ O ₃ 10SiO ₂ (15,8/4,0/50,5/29,7); Дистенсиллиманитовый концентрат - 8SiO ₂ 4TiO ₂ 16Al ₂ O ₃ 4MgO8CaO2FeO (15,1/10,0/51,3/5,1/14,0/4,5)	
Оптимальные составы ферросплавов и лигатур	
Ферроалюминий ФА30 (FeAl, 550/1400, 6,2); Ферросилиций ФС20 (Fe ₂ Si, 700/1250, 6,72); Ферросиликоалюминий ФС10А 25 (Fe ₂ SiAl ₂ , 550/1400, 5,65); Силикоалюминий СА65 (SiAl ₂ , 350/900, 2,6); Силикокальций СК70 (SiCa ₂ , 400/1000, 1,76); Ферросиликокальций ФС10К35 (Fe ₂ SiCa, 500/1200, 4,84)	

* - в скобках – стехиометрический состав интерметаллидов; температуры образования, плавления и плотность, соответственно;

** - B₀ – основность шлака; A_S и A_{P₂O₅} - адсорбционная емкость шлака по сере и фосфору, соответственно; T_л – температура ликвидуса

Использование бесфтористых рафинировочных шлаков и комплексных сплавов ферросиликоалюминия и ферросиликокальция при ковшевой обработке повышает степень десульфурации, раскисления и усвоения химически активных элементов (кремний, алюминий, кальций), а также способствует глобуляризации и снижению загрязненности стали неметаллическими включениями.

Список литературы

1. Белов Б.Ф. Теория МГС - фаз и ее применение для разработки рафинировочных шлаков / Б.Ф.Белов, А.И.Троцан, И.Л.Бродецкий и др. // ОАО «Черметинформация». Бюл. «Черная металлургия». – 2014. – №4. – С.34-41.

А. И. Белькова, А. С. Скачко, А. Ю. Гринько

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины,
Днепропетровск

КРИТЕРИИ И СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ УСЛОВИЙ СОГЛАСОВАНИЯ РАСПЛАВОВ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Одним из приоритетных направлений в оптимизации свойств расплавов является решение проблемы достоверности расчета термодинамических свойств многокомпонентных систем, поскольку они лежат в основе управления процессом выплавки чугуна требуемого качества.

Основными термодинамическими параметрами, контролирующими эффективность и степень завершенности ионообменных процессов в системе «металл-шлак», образовавшейся в горне доменной печи, являются коэффициенты распределения элементов. Поэтому для оценки реакционной способности компонентов металлических и шлаковых систем и разрешения вопросов межфазного распределения элементов в многокомпонентной системе важное значение имеет определение численного значения активности компонентов в системе.

В итоге, после систематизации опубликованных экспериментальных данных об активностях компонентов металлических и шлаковых расплавов с учетом компонентности расплава предложены модели для расчета коэффициентов активности компонентов в чугуне $f_{[X]}$ и в шлаковом расплаве $f_{(X)}$:

$$\lg f_{[X]} = 1.21 \cdot (\rho_{[X]}^l + Z^Y \cdot Z_{O[X]}^Y) - 5.64$$

$$\lg f_{(X)} = 3.1 \cdot (\rho_{l(X)} + Z^Y \cdot Z_{O(X)}^Y) - 18.16$$

Здесь Z^Y – химический эквивалент, суммирующий данные об эффективных зарядах всех компонентов металлического или шлакового расплава; $\rho_{[X]}^l$ и $\rho_{l(X)}$ – средняя зарядовая плотность элемента соответственно в металлическом или шлаковом расплаве; $Z_{O[X]}^Y$, $Z_{O(X)}^Y$ – зарядовое состояние элемента X в расплаве чистого компонента.

Активность компонента в металлическом и шлаковом расплаве вычисляется по известным формулам: $a_{[X]} = f_{[X]} \cdot X$, $a_{(X)} = f_{(X)} \cdot X$, где X – содержание компонента в расплаве.

Таким образом, на основе разработанной методики получены прогнозные модели для расчета коэффициентов распределения элементов и равновесного коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком, а также серопоглотительной способности шлака:

$$L_S = f(a_{[S]}, a_{(S)})$$

$$L_{Si} = f(a_{[Si]}, a_{(SiO_2)})$$

Для проверки адекватности коэффициентов распределения серы и кремния между продуктами плавки, прогнозируемых в зависимости от показателей шихты и дутьевого режима, используется условие согласования химических составов расплавов в горне доменной печи, реализованное в виде соответствующей зависимости $Z_{II}^Y / Z_{III}^Y = f(\rho / \Delta e)$ [1], где ρ – показатель стехиометрии шлакового расплава, Δe – химический эквивалент состава шлака.

Поскольку в производственных условиях кроме химических характеристик системы «металл-шлак» на процессы распределения активно влияют температурные условия плавки, в частности, тепловое состояние горна, в условии согласования необходимо учитывать температурно-тепловой потенциал нижней части печи, зависящий от технологического режима доменной плавки. Так, соответствующая зависимость для условий ДП №9 выглядит следующим образом:

$$\frac{Z_{II}^Y}{Z_{III}^Y} = 0,68 - 0,516 \frac{\rho}{\Delta e} + 0,00016 \hat{T}_{\phi 3}, \quad R=0,84$$

где $\hat{T}_{\phi 3}$ – температурный критерий состояния фурменной зоны печи, рассчитываемый как среднее значение температуры чугуна ($T_{ч}$) и теоретической температуры горения (T_t): $\hat{T}_{\phi 3} = (T_{ч} + T_t) / 2$.

Список литературы

1. Тогобицкая Д.Н. Моделирование процессов взаимодействия расплавов в восстановительных условиях доменной плавки / Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, А.Ю. Гринько // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ. – 2011. – №2(25). – С. 54-59.

КОНТРОЛЬ ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОДУВКЕ КИСЛОРОДНО- КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

Целью исследований является повышение качества управления плавкой за счет выбора рационального критерия шлакообразования.

Анализ автокорреляционных функций $R_{xx}(\tau)$ флуктуаций давления отходящих газов в разные периоды плавки показывает, что в начале продувки пульсации давления имеют ярко выраженную периодическую составляющую с периодом $T_0 = 0,6$ с. Начиная со второго периода плавки характер пульсаций резко изменяется, амплитуда составляющей с периодом колебаний T_0 значительно уменьшается. В этот же период происходит вспенивание шлака, о чем можно судить по уменьшению разбрызгивания металла и изменению характера интенсивности шума. Для выделения из общего сигнала о давлении отходящих газов полезной составляющей в виде периодической функции с частотой $\omega_0 = 2\pi/T_0$ неизвестной амплитуды и фазы разработано устройство фильтрации (рис. 1).

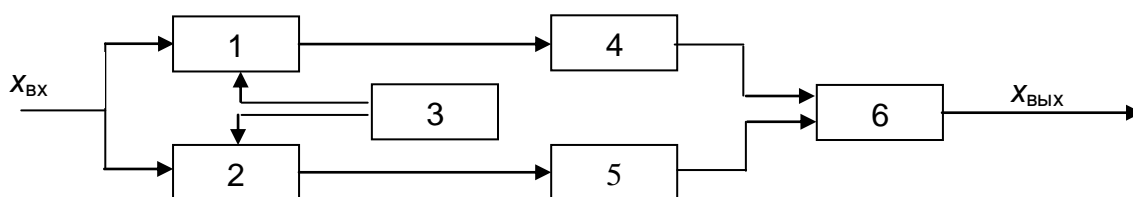


Рис. 1. Блок-схема преобразующего фильтра: 1, 2 – блоки умножения; 3 – генератор периодического сигнала; 4, 5 – частотные дифференциальные интеграторы; 6 – функциональный блок

Входной сигнал устройства можно представить в виде суммы полезного сигнала и шума

$$x_{\text{вх}} = A_1 \sin \omega_0 \tau + A_2 \cos \omega_0 \tau + x_{\text{ш}}(\tau), \quad (1)$$

причем амплитуда полезной составляющей находится из выражения

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}. \quad (2)$$

Выходной сигнал фильтра пропорционален интегралу от изменения амплитуды пульсаций давления отходящих газов с частотой ω_0 . Выходной сигнал фильтра градуируется в относительных единицах так, что значение параметра фильтра изменяется в пределах от 0 до единицы.

Полученные результаты могут быть использованы для управления процессами шлакообразования в ходе конвертерной плавки. Кроме того, введение в систему определения содержания углерода в ванне [4] параметра β в качестве корректирующего фактора позволило увеличить с 76 до 85 % количество плавов с ошибкой не превышающей 0,04 % абсолютных углерода, и тем самым повысить точность управления.

Выявлена связь между амплитудно-частотной информацией о пульсации давления продуктов горения углерода и характером шлакообразования в ванной по ходу продувки. Установлено, что по уменьшению амплитуды можно определить период вспенивания шлака.

Список литературы

1. Бойченко Б. М., Охотский В. Б., Харлашин П. С.: Підручник / Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія). – Дніпропетровськ: РВА „Дніпро-ВАЛ”, 2004. – 454 с.

2. Bogyshevskiy V., Sharbatian M., Sukhenko V. System for the BOF Process Control // The advanced Science open access Journal. – V. 5. – 2013. – P. 23 – 27.

3. Охотский В. Б., Рубан В. В. Инфразвук в шуме продувки в конвертере // Известия вузов. Чер. металлургия. – 1990. - № 6. – С. 24 – 26.

4. Богушевський В. С., Зубова К. М. Математичне моделювання конвертерного процесу за енергозберігаючою технологією // Технологічні комплекси. – 2013. – № 2 (8). – С. 32 – 38.

5. Богушевський В. С., Сергеева К. О. Модель доводки киснево-конвертерної плавки сталі за заданою температурою і вмістом вуглецю // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – №2. – С. 39 – 45.

УДК 669.184:001.891.573

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ РАСПЛАВА В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

В настоящее время уровень жидкого металла в индукционных печах контролируется с использованием подвижного контактного электрода. Недостатком этого устройств является нестабильность контроля, связанная с изменением длины электрода в процессе эксплуатации (длина электрода увеличивается из-за «намерзания» на нем переплавляемого металла).

Целью исследований является повышение точности контроля уровня металла.

Результаты исследований. Переменный поток $\bar{\Phi}_1$, создаваемый током индуктора, индуктирует в садке вторичный ток, создающий магнитный поток $\bar{\Phi}_2$, компенсирующий поток $\bar{\Phi}_1$. Суммарный магнитный поток $\bar{\Phi}_\Sigma$, Вб, равный

$$\bar{\Phi}_\Sigma = \bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2, \quad (1)$$

наводит в измерительном витке, расположенном над индуктором и используемом в качестве датчика уровня ЭДС индукции E , В.

Рассматривая индукционную печь как воздушный трансформатор, действующее значение ЭДС, наводимой в витке, можно представить в виде

$$E = If(h) = \frac{U \cos \phi}{R_3} f(h), \quad (2)$$

где I – действующее значение тока индуктора, А; $f(h)$ – некоторая функция от уровня h , м, расплава, В/А; U – действующее значение напряжения питания индуктора, В; $\cos \phi$ – косинус сдвига фаз между током и напряжением (коэффициент мощности); R_3 – активное эквивалентное сопротивление системы индуктор-садка, Ом.

Таким образом, действующее значение ЭДС, наводимой в витке, прямопропорционально напряжению питания индуктора и коэффициенту мощности. Для исключения влияния этих параметров, изменяющихся в зависимости от условий работы печи, на точность контроля уровня расплава в

качестве контролируемой величины выбрали величину ψ , равную отношению $E/(U\cos\varphi)$

$$\psi = \frac{f(h)}{R_3}. \quad (3)$$

По ходу расплавления шихты (твердой фазы) значительно изменяется активное эквивалентное сопротивление R_3 системы индуктор-садка.

Поэтому достоверно уровень расплава можно контролировать после полного расплавления шихты, т.е. когда R_3 практически уже не изменяется.

Допуская, что магнитное поле равномерно распределяется по всей высоте как индуктора, так и садки, глубина проникновения тока в садке мала, и, пренебрегая активным сопротивлением садки, величину ψ можно представить в виде

$$\psi = k\left(D - \frac{d^2 H}{DH}\right), \quad (4)$$

где k – коэффициент пропорциональности, m^{-1} ; D – внутренний диаметр индуктора, м; d – средний диаметр садки, м; H – высота индуктора, м.

Отсюда статическую зависимость для определения уровня расплава в тигле можно представить в виде

$$h = k_1 k_2 \psi = k_1 \frac{k_2 E}{U \cos\varphi}, \quad (5)$$

где k_1, k_2 – статистические коэффициенты, зависящие от геометрических размеров и электрических характеристик индуктора и садки, м.

Так как тигель с течением времени изнашивается, то по мере износа его внутренний диаметр (средний диаметр садки) увеличивается. В первом приближении влияние износа футеровки на величину уровня расплава, рассчитанную по формуле (5), можно учесть введением поправки

$$h = k_1 \frac{k_2 E}{U \cos\varphi} + \Delta N, \quad (6)$$

где Δ – средняя за сутки поправка величины уровня расплава, вызванная износом футеровки тигля, м; N – количество суток с начала кампании печи.

В соответствии с экспериментальными данными, полученными для печи ИАТ-1: $k_1 = 1,36$ м; $k_2 = 4,7$ м; $\Delta = 7,6 \cdot 10^{-4}$ м.

Применение устройства в составе АСУ ТП индукционной печи дает возможность вести процесс плавки металла и его хранения с меньшими энергозатратами.

Список литературы

1. *Богушевский В.С., Ларионов А.А., Буга И.Д., Рюшин Н.А., Сорокин Н.А.* АСУТП конвертерного производства и специальной электрометаллургии. - К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1997. — 292 с.

УДК 669.184

В. С. Богушевский, Ю. И. Сырбу

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ СТАЛИ

Себестоимость единицы продукции аддитивно отражает все виды затрат: материальные, энергетические, трудовые и др. Основная часть затрат состоит из расходов на сырье и материалы (82 – 88 %). Расходы по переделу и общезаводские составляют 10 – 15 %. Наибольшие затраты – на металлошихту, особенно на передельный чугун. Поэтому возникает необходимость в выборе оптимального соотношения чугуна и лома в шихте.

Как правило, для сведения теплового баланса используют охлаждающие добавки извести, известняка или железной руды. При этом снижают массу перерабатываемого лома, что вызывает увеличение себестоимости стали. При избыточной массе загружаемого лома продувка протекает с отрицательным тепловым балансом. Дополнительный нагрев ванны осуществляют продувкой с увеличенным расстоянием торца фурмы над уровнем спокойной ванны, что приводит к возрастанию потери железа со шлаком и, следовательно, удорожанию стали.

Целью исследований является снижение себестоимости стали за счет выбора рационального критерия оптимизации и проведения расчетов в соответствии с ним.

На Енакиевском металлургическом заводе нами исследовано влияние химсостава чугуна и металла на себестоимость стали, выплавленной в 160-тонном конвертере со смолодоломитомagnesитовой футеровкой. Выявлен

оптимальный характер этих зависимостей и область их минимальных значений. Малым массовым долям серы в чугуне, как правило, сопутствуют большие доли кремния, что сказывается на снижении выхода годного и, следовательно, отражается на повышении себестоимости стали. Минимум функции соответствует диапазону изменения содержания серы 0,035 – 0,037 %. При дальнейшем увеличении содержания серы возрастают затраты на шлакообразующие материалы.

Экстремальный характер имеет зависимость себестоимости стали от конечного содержания углерода на повалке. Минимальное значение себестоимости соответствует содержанию углерода 0,25 – 0,27 %. При низких содержаниях углерода повышение себестоимости стали вызывается уменьшением выхода годного и увеличением затрат на производство (на кислород, шлакообразующие, раскислители и огнеупоры). Увеличение себестоимости продукции для высокоуглеродистых сталей, объясняется, по видимому, возрастанием трудоемкости производства (увеличивается число промежуточных повалок), что сказывается на снижении выхода годного.

При увеличении производительности кислородно-конвертерного цеха на 1 % себестоимость стали снижается на 0,62 %. Однако производительность процесса вступает в противоречие с качеством жидкой стали, определяемым ее химсоставом и температурой. Передувка по углероду на 0,1 % вызывает повышение массовой доли кислорода на 0,008 % и дополнительный расход ферромарганца на 0,27 кг/т годной стали, что приводит к увеличению себестоимости продукции.

К числу важнейших показателей, влияющих на себестоимость стали, относится стойкость футеровки конвертера, в сильной степени зависящая от температуры ванны, состава шлака, продолжительности продувки и простоя агрегата. Перегретые плавки приводят к увеличению износа футеровки за счет повышения активности конечного шлака, что в итоге приводит к увеличению себестоимости стали. Холодные плавки также увеличивают себестоимость готового продукта, так как они корректируются додувками при высоком положении фурменного наконечника над ванной с образованием большой массы железистых шлаков, снижающих стойкость футеровки конвертера.

Исследование влияния основности конечного шлака на себестоимость стали позволило нам также установить наличие оптимальной зависимости.

Зависимости себе стоимости стали от различных параметров конвертерного процесса показывают, что все связи имеют нелинейный характер, однако в узком диапазоне изменения переменных, который имеет место в реальном процессе, данные зависимости можно представить в линейной форме. Это дает возможность использовать аппарат линейного программирования для расчета плавки в оптимальной постановке.

Более точное ведение процесса в результате автоматизации увеличивает число плавов, попадающих в заданные пределы по углероду и температуре. Это исключает корректировочные действия оператора, уменьшает расход сырья и улучшает качество металла.

УДК 621.745

В. С. Богушевський, М. В. Каленчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Київ

ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В ПРОЦЕСІ ОТРИМАННЯ І ОБРОБКИ СТАЛІ

Отримання високоякісної сталі або сплаву, придатних для виготовлення відповідальних виробів, завжди є актуальним, і передбачає комплекс наукових досліджень з метою попередження утворення неметалевих включень або забезпечення їх мінімального вмісту.

До збільшення вмісту неметалевих включень в сталі призводить взаємодія металу зі шлаком при випуску плавки з печі, послідовне розкислення сталі марганцем, кремнієм і алюмінієм, при контактуванні струменя рідкого металу з повітрям при розливанні.

З поширенням умов експлуатації кінцевої продукції підвищуються вимоги до чистоти сталі по неметалевим включенням ендogenous і екзогенного типу. Однак, на відміну від ендogenous включень — оксидів (продуктів розкислення), сульфідів і нітридів, для екзогенних включень ще не виявлена залежність їх вмісту в сталі від технологічних факторів.

Процеси окислення і затвердіння сталі, як складові механізму утворення екзогенних включень, можуть протікати в ковші на поверхні сталі у зв'язку з її

оголенням при продувці, а також внаслідок використання тонкого шару рафінувального шлаку (товщиною 2 – 3 см) і нерівномірного нанесення ізолюючого покриття або незадовільної його якості.

Відповідно до класифікації автора роботи [1], в сталі поряд з утворенням екзогенних і ендогенних неметалічних включень, присутній третій їх вид – це продукти взаємодії між вказаними двома видами включень. На підставі аналізу існуючих технологій позапічної обробки і безперервної розливки сталі до третього виду слід також віднести вторинні неметалеві включення, які утворюються внаслідок проходження процесів вторинного окислення і трансформації існуючих в сталі неметалевих включень.

При послідовному розкислення сталі марганцем, кремнієм і алюмінієм збільшення кількості неметалічних включень обумовлено головним чином взаємодією алюмінію з вільним киснем і з раніше утвореними неметалевими включеннями, а також з погіршенням ефективності їх видалення у зв'язку зі зниженням плинності рідкої сталі [2].

Результатами робіт [3] свідчать, що кількість великих силікатних неметалевих включень розміром порядку 10 мкм збільшується зі збільшенням інтенсивності перемішування металу в сталерозливному ковші при випуску плавки, а потім при витримці металу в ковші їх основна частина переходить в шлак. Ефективність переходу не залежить від в'язкості включень, а визначається міжфазним натягненням на границі включення-рідка сталь.

У процесі позапічної обробки і безперервного розливання при взаємодії сталі з киснем повітря протікають процеси вторинного окислення з утворенням неметалевих включень, частина з яких переходить в шлак, а частина залишається в металі при кристалізації. Дослідження свідчать про те, що ці включення мають однаковий хімічний і мінералогічний склад, що підтверджує єдине джерело і механізм їх утворення [4].

До основних процесів, що істотно впливають на утворення і трансформацію неметалевих включень у сталі на технологічній ділянці АКП-МБЛЗ слід віднести: вторинне окислення металу; взаємодію металу з вогнетривкими матеріалами; взаємодію металу з ковшовим шлаком в сталерозливних ковшах, покривним шлаком і засипанням шибєрних затворів в проміжному ковші, і технологічним шлаком в кристалізаторі; при кристалізації зливка.

Список літератури

1. *Нарита К.* Кристаллическая структура неметаллических включений в стали / К. Нарита; пер с англ. – М.: Металлургия. – 1969. – 190 с.
2. *Кнюппель Г.* Раскисление и вакуумная обработка стали. Ч. 2. Основы и технология ковшовой металлургии / Г. Кнюппель; пер. с нем. – М.: Металлургия, 1984. – 414 с.
3. *Гасик Л.Н.* Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур / Л.Н. Гасик, В.С. Игнатьев, М.И. Гасик. – Киев.: Техника. – 1975. – 142 с.
4. Развитие технологии производства стали и повышение качества металла труб нефтяного сортамента / *А.С. Дегай, А.И. Степанов, С.П. Бурмасов [и др.]* // Труды 10–го Конгресса сталеплавильщиков (г. Магнитогорск, 13 – 17 октября 2008 г.). – Москва. – 2009 г. – С. 80-87.

УДК 696.184

Б.М. Бойченко¹, Д.П. Васильев², Л.С. Молчанов¹

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

²ПАО “ЕВРАЗ- ДМЗ им. Петровского”, г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ В КОНВЕРТЕРЕ

Длительным производством стали в промышленных кислородных конвертерах показана целесообразность ввода в состав периклазоуглеродистых огнеупоров, устанавливаемых в шлаковой зоне агрегатов, дополнительных антиоксидантов: Si, Mg, Al и композиций из них. Установлено, что эффективность воздействия на повышение стойкости футеровки резко возрастает в ряду Si → Al → Mg.

При проведении регулярного (через 150-200 плавов) сканирования внутренней поверхности конвертеров как механическим путем, так и с помощью интерферометра по известным методикам была изучена топография износа футеровки в ходе кампании с применением разных антиоксидантов и определен линейный износ в сопоставимых условиях работы. В середине и

конце опытных кампаний по футеровке с помощью полой металлической пики с зазубренными краями через горловину конвертера отбирали из рабочего слоя в цапфенной области представительный образец перерождаемой зоны огнеупора. Его подвергали послойному рентгенофазовому анализу на дифрактометре ДРОН-2 в молибденовом фильтрованном K_{α} излучении. Как выяснилось, перерождаемая зона последовательно от плавки к плавке перемещается от места контакта со шлаком вглубь огнеупора с образованием практически одних и тех же фаз.

При использовании тонкодисперсного порошка кремния в качестве антиоксиданта в местах контакта оксида SiO_2 , образовавшегося при проникновении шлака в огнеупор, и углерода взаимодействие между ними происходит лишь в начальной стадии, так как образующийся слой SiC ($t_{\text{плавл}} = 3000 \text{ K}$) прерывает этот контакт, и процесс прекращается. Конвертерный шлак является источником новых порций кремнезема, и в результате этого и твердофазных процессов в огнеупоре появляется форстерит (Mg_2SiO_4). По кинетическим соображениям газовая фаза имеет важное значение и, в частности, образование SiO_g при высоких температурах. Продуктами взаимодействия в огнеупорах являются антиоксидант SiC и тугоплавкий Mg_2SiO_4 ($t_{\text{плавл}} = 2000 \text{ K}$).

Металлический алюминий при службе огнеупоров в конвертерах не только окисляется ранее углерода, но и взаимодействует с последним с образованием карбида Al_4C_3 ($t_{\text{плавл}} = 3000 \text{ K}$), который образует на каждой чешуйке графита оболочку, усиливая связь между огнеупорными зёрнами и повышая прочность. Продукты окисления металлического алюминия в огнеупорах вступают в химическую реакцию с дисперсным периклазом в связке огнеупора и образуют шпинель $MgAl_2O_4$ ($t_{\text{плавл}} = 2270 \text{ K}$), синтезом которой является повышенная коррозионная устойчивость. При температуре $> 1570 \text{ K}$ алюминий восстанавливает CO по реакции: $2 Al + 3 CO = Al_2O_3 + 3 C$. Сажистый углерод и оксид алюминия, отлагаясь в порах огнеупора, способствуют повышению шлакоустойчивости футеровки. Наибольшую устойчивость периклазоуглеродистых огнеупоров к окислению обнаружили при введении в них металлического магния. Магний легко окисляется даже в окружении графита при незначительном парциальном давлении кислорода и образует периклаз ($t_{\text{плавл}} = 3000 \text{ K}$) уже при температуре 800 K . Сублимация Mg ($t_{\text{кипения}} = 1390 \text{ K}$) в рабочей зоне огнеупоров вызывает рост парциального давления

паров газообразного магния и их диффузию к поверхности контакта с жидкими и газообразными фазами конвертерной плавки. Здесь магний окисляется и отлагается в виде плотной зоны вторичного периклаза. Образование плотного слоя MgO по границам крупных зерен первичного периклаза препятствует проникновению шлака в огнеупор, а для раскисления просочившихся мелких порций шлака остаются на глубине 2 мм от рабочей поверхности футеровки, как показали наши исследования, достаточные количества антиоксиданта.

УДК.669.181.28:621.745.58

Б. М. Бойченко, К. Г. Низяев, А. Н. Стоянов, Е. В. Синегин, Л. С. Молчанов
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ШЛАКОВОГО РАСПЛАВА С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ НА СКОРОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ШЛАКОВОЙ ФАЗЕ

Электропроводность шлаков определяется не только и не столько степенью их электромагнитной диссоциации, но и подвижностью образующихся в шлаке ионов, существенно зависящих от вязкости. Вместе с тем шлаки обладают достаточно большой электропроводностью при значительной вязкости, что является одной из их особенностей.

Влияние химического состава шлакового расплава на его электропроводимость неоднозначно и определяется не только наличием и количеством ионов-носителей электричества, но и их подвижностью.

Авторами работы была выдвинута гипотеза о том, что прохождение электрохимических реакций зависит от подвижности шлаковых ионов, а показателем их подвижности является электропроводность системы. Следовательно, изучение электропроводности сталеплавильных шлаков позволит регулировать прохождение электрохимических реакций путем наложения потенциалов на систему.

С целью изучения влияния состояния шлакового расплава проведено три серии экспериментов на шлаковых расплавах системы CaO-SiO₂-FeO при температурах 1520, 1550, 1580 °С. На рис. приведены диаграммы изолиний электропроводности шлаков для указанных температур и составов.

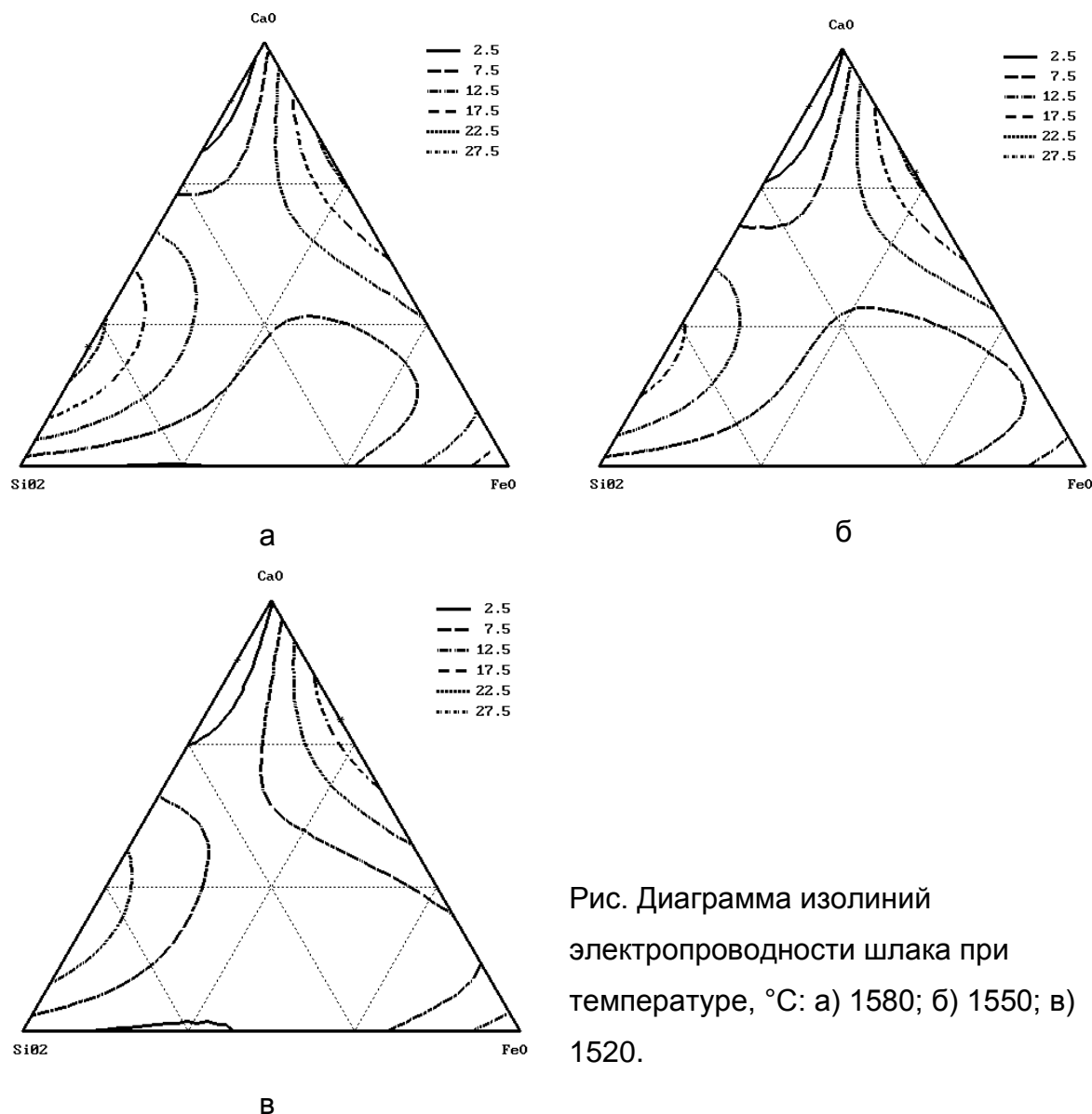


Рис. Диаграмма изолиний электропроводности шлака при температуре, °С: а) 1580; б) 1550; в) 1520.

Из приведенных данных вытекает, что при увеличении температуры расплава электропроводность шлака повышается, и это не противоречит ионной теории строения шлаковых расплавов. Однако существуют области ($\text{CaO} \sim 45\text{-}61\%$; $\text{SiO}_2 \sim 38\text{-}55\%$; $\text{FeO} \leq 1$), в которых при повышенных температурах шлакового расплава происходит рекомбинация соединений, которая приводит, в свою очередь, к частичному снижению или стабилизации электропроводности шлака.

Также отмечено, что с увеличением количества оксидов железа в шлаке электропроводность последнего резко повышается, а увеличение содержания оксидов кальция приводит к обратному, при этом оксиды кремния существенно не влияют на электропроводность шлаков. Эти закономерности и основные положения электрохимии позволяют констатировать, что протекание электрохимических реакций определяется подвижностью ионов в системе, а

скорость переноса ионов можно регулировать путем подведения к системе заданного электрического потенциала, зависящего от электропроводности.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили основные положения ионной теории строения шлаковых расплавов.

Полученные закономерности предполагают возможность электрического воздействия на систему для регулирования процессов протекания электрохимических реакций на границе раздела твёрдый материал - шлак.

УДК 696.184

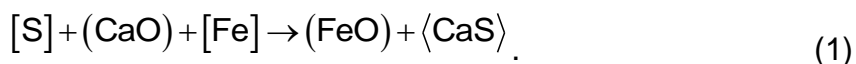
**А. Г. Боштанар¹, Л. С. Молчанов², Б. М. Бойченко², К. Г. Низяев²,
А. Н. Стоянов², Е. В. Синегин²**

¹СЗАО «Молдавский металлургический завод», г. Рыбница,

²Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПРОЦЕССЫ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО РАСПЛАВА

Процесс десульфурации железоуглеродистых расплавов в плавильных агрегатах протекает непосредственно на границе раздела металл-шлак. С физико-химической точки зрения данный процесс включает несколько различных стадий и может быть описан суммарным уравнением процесса десульфурации:



При этом константа данной реакции может быть рассчитана следующим образом:

$$K_S = \frac{a_{(FeO)} \cdot a_{\langle CaS \rangle}}{a_{[S]} \cdot a_{[Fe]} \cdot a_{(CaO)}} \quad (2)$$

Учитывая, что значение K_S определяется активностями компонентов в металлической и шлаковой фазах, то в первом приближении полнота протекания процессов десульфурации может быть оценена по величине активности серы в расплаве, рассчитанной по формуле:

$$a_{[S]} = [S] \cdot f_S, \quad (3)$$

где $[S]$ – концентрация серы в расплаве, f_S – коэффициент активности серы в расплаве, определяемый исходя из значений параметров взаимодействия и концентраций других примесей в расплаве.

В ходе проведения аналитически-расчетного исследования установлено, что положительно влияют на активность серы в расплаве такие примеси, как кремний, алюминий. Их положительное влияние на физико-химические процессы удаления серы связаны, в первую очередь, со способностью снижать активность оксидов железа. Повышение содержания хрома, никеля, свинца, олова и меди приводит к снижению активности серы в расплаве и, как следствие, к снижению эффективности процесса удаления серы из расплава в соответствии с реакцией (1). Отрицательное влияние хрома обусловлено его перераспределением между металлом и шлаком, что приводит к повышению окисленности шлака и, как следствие, металла. Никель, свинец и олово выступают в роли поверхностно активных веществ, которые снижают скорость массопереноса атомов серы к месту протекания процессов десульфурации. Концентрация кобальта практически не влияет на активность серы в расплаве, что может быть связано с близостью строения его атома к атому железа. Влияние азота и водорода в составе железоуглеродистого расплава на активность серы определено как положительное вследствие того, что они являются поверхностно активными веществами с атомным радиусом, значительно меньшим, чем у серы. Поэтому их наличие приводит к улучшению процессов массопереноса атомов серы к месту протекания процессов десульфурации. Кроме того, повышается вероятность удаления серы в газовую фазу, доля которой будет значительно возрастать по мере увеличения выделения растворенного азота и водорода в конденсированную фазу.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОДОЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМ ПОДОМ

В наше время является актуальным вопрос сохранения ресурсов при нагреве металла при производстве проката. Целью работы является снижение расхода топлива при нагреве металла в печи с шагающим подом.

Печь с шагающим подом является нагревательной методической печью, в которой топливо сжигается, обычно, с использованием сводовых плоскопламенных горелок. Поэтому в печи свод плоский. Уходящие продукты сгорания удаляются через сводовый дымоотбор.

Характерной особенностью такой печи является наличие двух существенно отличающихся зон по высоте рабочего пространства печи. В верхней зоне, прилегающей к своду, происходит сжигание топлива. В нижней зоне происходит простое продольное движение дымовых газов в сторону дымового окна. Как правило, рабочее пространство печи с шагающим подом представляет из себя длинный ровный канал прямоугольного сечения. Иногда в печи встречаются поперечные перегородки, примыкающие к своду. Наличие ровного канала позволяет хорошо развиваться продольным лучистым тепловым потокам. Наличие в печи лучистого продольного излучения повышает температуру уходящих из печи газов, что приводит к увеличению расхода топлива. Но, с другой стороны, при высокой температуре дымовых газов интенсифицируется теплообмен, что должно вести к сокращению расхода топлива. Таким образом, задача расчета энергоэффективности нагрева металла в печи при учете продольного излучения является оптимизационной [1].

Для анализа влияния технологических параметров на работу печи с шагающим подом и для определения расхода топлива выполнен теплотехнический расчет ПШП с использованием методики, предложенной профессором Ольшанским В.М. [2]. Исходные данные для расчета соответствовали техническим условиям одного из металлургических заводов Украины.

В методику [2] нами были внесены изменения, которые учитывают влияние величины продольного излучения. Принято, что излучение определяется площадью поперечного сечения рабочего пространства на границе сварочной и методической зон и величиной плотности теплового потока излучения из сварочной зоны в методическую. Согласно рекомендациям Розенгарта Ю.И. [2], плотность теплового потока между зонами изменяется в пределах от 100 кВт/м² до 150 кВт/м². В своем расчете мы принимаем плотность теплового потока равную 125 кВт/м². Считаем, что продольное излучение можно регулировать изменяя высоту перегородки на границе зон, т.е. изменяя зазор между подиной и перегородкой. В результате соответствующих расчетов расхода топлива получено, что с увеличением величины зазора между подиной и перегородкой, растет величина продольного излучения, что приводит к увеличению расхода топлива. Данный расчет показывает что подавление продольного излучения позволяет снизить расход топлива на печи с шагающим подом, в нашем случае, на 1,5-2 %. Этот эффект достигается, главным образом, за счет снижения температуры дыма на выходе из печи.

Список литературы

1. Свинолобов Н.П. Оценка продольного излучения при расчете двухзонной методической печи / Свинолобов Н.П., Бровкин В.Л., Вехник В.А. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – №4. – С. 100-107.
2. Губинский В.И. *Металлургические печи. Теория и расчеты: учебник в 2 т. Т 2.* / Губинский В.И., Тимошпольский В.И., Ольшанский В.М., Мاستрюков Б.С. и др. Под общ. ред. Тимошпольского В.И. и Губинского В.И. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 832 с.
3. Аверин С.И. *Расчеты нагревательных печей* / Аверин С.И., Гольдфарб Э.М., Кравцов А.Ф., Радченко И.И. и др. Под ред. Тайца Н.Ю. – Киев: Техника.– 1969. – 540 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ РАЗЛИВКИ МНЛЗ

При использовании трехплитных шиберных затворах для регулирования расхода расплава в системах разлива стали на МНЛЗ существует опасность подсоса воздуха в движущуюся струю. Подсос воздуха оказывает негативное влияние на качество получаемой заготовки (особенно при разливе вакуумированной стали), а в случае разлива стали с повышенным содержанием алюминия дополнительно вызывает зарастание просвета погружного стакана, снижая его эксплуатационную стойкость [1].

Разрежение газа в погружном стакане объясняется эжектирующим действием струи стали, вытекающей из промковша. Как следует из результатов промышленных экспериментов [2], уровень давления во внутренней полости погружного стакана может непосредственно подтверждает возможность подсоса газа из окружающей среды в поток жидкой стали.

У входа в стакан-дозатор давление в жидкой стали соответствует металлостатическому давлению столба, высота которого равна уровню стали в промковше. Несмотря на увеличение высота столба жидкой стали по мере продвижения от промковша до кристаллизатора, давление в жидкости уменьшается, что связано, главным образом, с изменениями скорости потока (в соответствии с уравнением Бернулли). Точный анализ изменения давления в системе с учетом металлостатического давления на входе, расхода стали, а также изменений сечения потока возможен с использованием компьютерного моделирования. Известные коммерческие системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) [3] обеспечивают сопряженное моделирование задач теплопроводности и вычислительной гидродинамики.

В данной работе с помощью компьютерного моделирования выполнен анализ гидродинамической картины движения жидкой стали при ее подаче из промковша МНЛЗ в кристаллизатор с помощью системы «стакан-дозатор – трехплитный шиберный затвор – погружной стакан» при изготовлении квадратной заготовки 140x140 мм на машине непрерывного литья с помощью

СКМ ЛП «ProCAST» (ESI Group) [4]. Расчет выполнен для диаметра просвета погружного стакана 40 мм и скорости движения заготовки 65 мм/с.

Результаты расчетов распределения давления в системе подачи жидкой стали в кристаллизатор представлены на рис. 1.

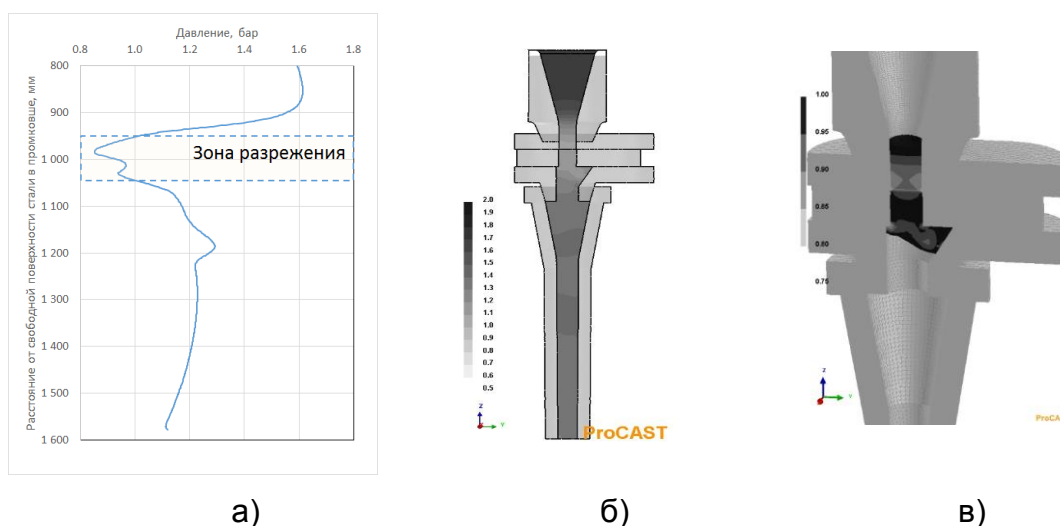


Рис. 1. Распределение давления в системе «стакан-дозатор – трехплитный шиберный затвор – погружной стакан»: а) распределение давления вдоль оси канала; б) распределение давления в вертикальном осевом сечении каналов, бар; в) вид зоны разрезания (в сечении)

Как следует из полученных данных, область пониженного давления, в которой возможна эжекция газа в струю жидкой стали, расположена в зоне шиберного затвора. Для предотвращения внутреннего окисления стали в данном случае можно использовать защитную атмосферу в районе плит шиберного затвора.

Работа выполнена в рамках исследовательского проекта AGH НТУ № 11.11.110.225

Список литературы

1. Процессы непрерывной разливки: Монография / Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаев А.А. и др. – Донецк: ДонНТУ, –2002. –536 стр.
2. А.Н. Смирнов, А.Л. Подкорытов, Д.Н. Турунов. Повышение конкурентоспособности непрерывной разливки сортовой заготовки //Металлы и литье Украины. – 2010. –№ 6. С. 7-11.
3. Бурбелко А.А., Каптуркевич В. Моделирование процессов формирования структуры при кристаллизации металлов // Международная научно-техническая конференция "Современные проблемы металловедения сплавов цветных

металлов": Сб. научных трудов, Москва, 1-2 октября 2009 г, Изд. Дом МИСиС. – 2009, стр. 331-339

4. <http://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-manufacturing/casting/procast-quikcast> (4-04-2016)

УДК 696.184

Вей Синвень, К. Г. Низяев, А. Н. Стоянов, Л. С. Молчанов, Е. В. Синегин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

На современном этапе развития мирового производства, особенно в сфере металлургии и литейного производства, значительно возрастает роль огнеупорных материалов. В последнее время широкое распространение в теплоэнергетике, цветной металлургии и стекольной промышленности получают композитные огнеупорные материалы обладающие повышенными эксплуатационными свойствами по сравнению с традиционными. Наиболее низкочрезмерным способом их производства является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). В технической литературе композиционные огнеупорные материалы, полученные с применением технологии СВС принято называть СВС-огнеупорами.

Применение технологии СВС позволяет получать либо конечные изделия заданных геометрических размеров, либо полуфабрикаты в виде высокопористых, низкопрочных конгломератов или порошков. Изделия, получаемые путём прессования СВС-полуфабрикатов в условиях предприятий чёрной металлургии малоприменимы, так как их производство требует задействования специального оборудования.

В ходе проведения дальнейших лабораторных исследований экспериментальным путем были получены опытные образцы композиционных огнеупорных материалов методом СВС, основными компонентами которых являются BN, Al₂O₃ и Al₂TiO₅. Их основные эксплуатационные свойства приведены в таблице 1. Учитывая, тот факт, что на различные зоны футеровки воздействуют различные факторы, то равномерность износа футеровки может

быть достигнута путём её утолщения и изменения типа огнеупорного материала в различных зонах. Повышение толщины футеровки является неприемлемым, так как приводит к снижению полезного объёма агрегата, его производительности, возрастанию расходов огнеупоров. Выходом из сложившейся ситуации является применение в быстро изнашивающихся зонах высококачественных огнеупорных материалов новых видов. К таковым относятся композиционные огнеупоры, содержащие BN.

Таблица 1

Основные технологические свойства композитных огнеупорных материалов

Свойство	Единицы измерения	Значение
Механическая прочность	МПа	85 - 90
Огнеупорность	°С	2000
Термостойкость	термоциклы	6 - 9
Пористость	%	5 - 7
Шлакоустойчивость*	—	1,5 - 1,9

*шлакоустойчивость определяли в сравнении с периклазоуглеродистыми плавными огнеупорами (принята за 1).

Исходя из изложенного, разработана модель рабочего слоя высококачественной футеровки для кислородных конвертеров (рис.).

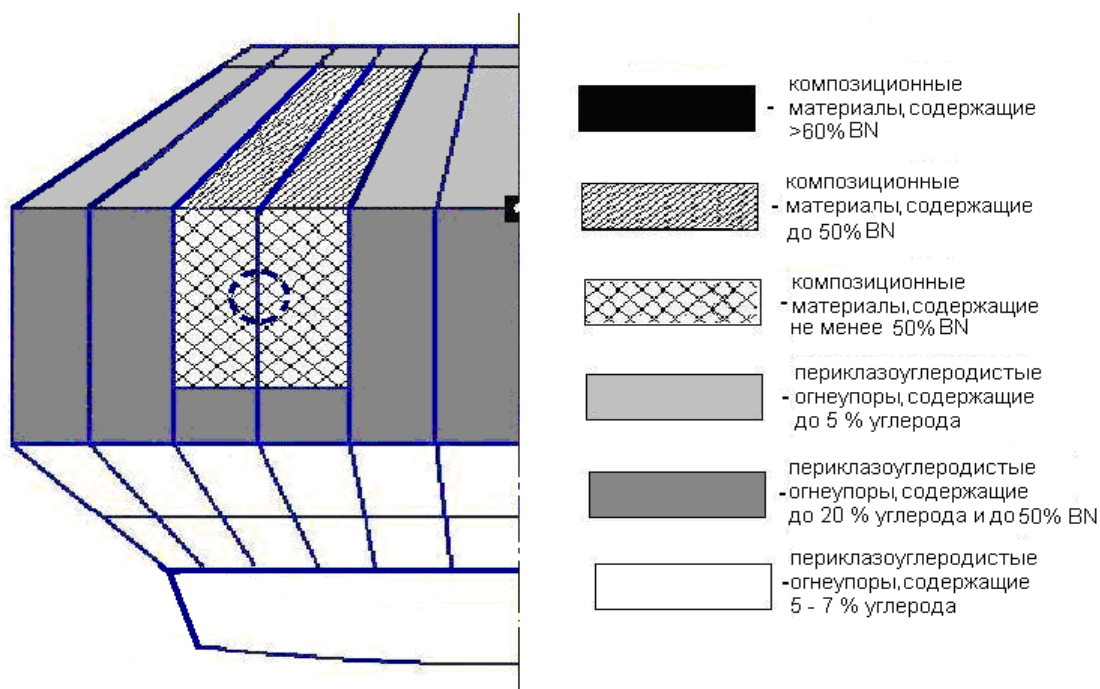


Рис. Модель дизайна рабочего слоя высококачественной футеровки кислородного конвертера с использованием композиционных огнеупоров

В соответствии с ней менее склонные к износу днище и участки футеровки нижнего конуса выполняются из традиционных периклазоуглеродистых огнеупоров, а участки, более склонные к разрушению, предлагается футеровать композиционными огнеупорными материалами, содержащими VN.

УДК 621.746.5

В. Т. Вышинский

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА СОРТОВОЙ МНЛЗ

Основное требование к кристаллизатору – обеспечивая необходимый теплоотвод получить на выходе из зоны его работы прочную оболочку, способную сохранять свою форму как под действием тепла жидкой фазы, ферростатического давления, так и от взаимодействия с ведомым звеном механизма качания кристаллизатора (МКК) и элементами направляющего аппарата зоны вторичного охлаждения. С учётом того, что подавляющее число поверхностных дефектов слитков зарождается в кристаллизаторе [1], требования к конструктивным параметрам кристаллизаторов, кинематическим и динамическим особенностям функционирования МКК достаточно высоки. Особенно жесткие требования к кристаллизаторам для отливки сортовых заготовок. Так допуск на прямолинейность рабочей полости сечением $0,15 \times 0,15$ м составляет $\pm 0,15$ мм [2]. Разливка стали производится с более высокими скоростями вытягивания, обуславливая необходимость реализации частот колебаний кристаллизатора в диапазоне 130 ... 290 кол/мин.

В анализе статистики замен МКК сортовой МНЛЗ конверторного цеха Енакиевского металлургического завода при их эксплуатации за период 2011...2013 годы показано, что 80% случаев необходимости замены вызвана неудовлетворительным состоянием элементов кинематических пар [3], обусловленных конструктивными, эксплуатационными и силовыми факторами. Анализ силового нагружения МКК показал, что его звенья в процессе работы находятся под воздействием сложного комплекса сил, из которых только силы

тяжести имеют постоянные значения. При дальнейших исследованиях [4] выполнена попытка учета влияния податливости отдельных звеньев МКК, показавшая особенности проявления их силового взаимодействия на исполняемые кинематические параметры движения кристаллизатора. Однако эти исследования, выполненные на базе использования плоской модели МКК, нуждаются в дальнейшем развитии, так как дополнительные перемещения обусловлены не только проявлением упругих свойств пространственных конструктивных элементов, но и дополнительными воздействиями, обусловленными статической неопределимостью. Это приводит к искажению траектории движения кристаллизатора в виде рыскания и верчения относительно заданной.

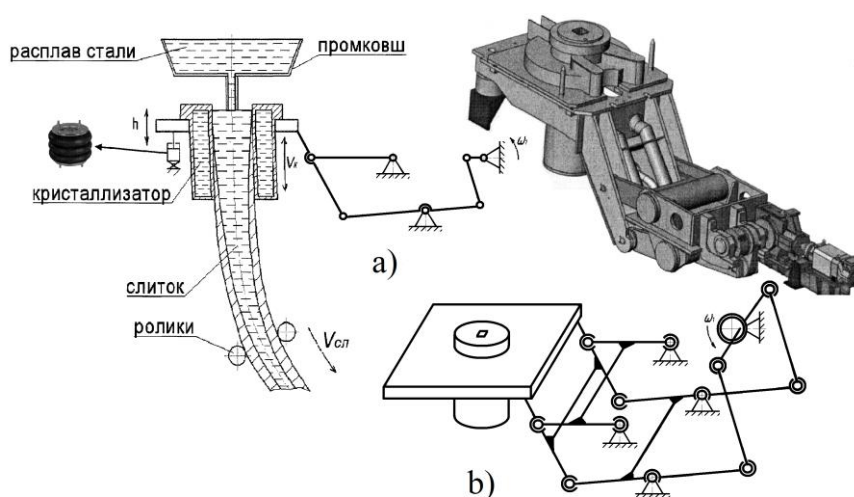


Рис. 1 Шарнирно-рычажный МКК сортовой МНЛЗ конструкции НКМЗ: а – плоская расчетная схема; б – пространственная расчетная схема.

Список литературы

1. Машины непрерывного литья слябовых заготовок / В.М. Нисковских, С.Е. Карлинский, А.Д. Беренов – М.; Metallurgy, 1991. – 272 с.
2. Непрерывная разливка стали / И.К. Попандопуло, Ю.Ф. Михневич – М.; Metallurgy, 1990. – 296 с.
3. Родионов Н.А. Обоснование рационального способа уравнивания механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовки: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.08 / Родионов Николай Александрович. – 2015. – 197 с.
4. Буцукин В.В. Исследование влияния упругой деформации рычагов механизма качания на кинематическую точность движения кристаллизатора

УДК 669.187.28

**М. И. Гасик¹, А. П. Горобец¹, А. И. Панченко², А. С. Сальников²,
А. В. Яковицкий²**

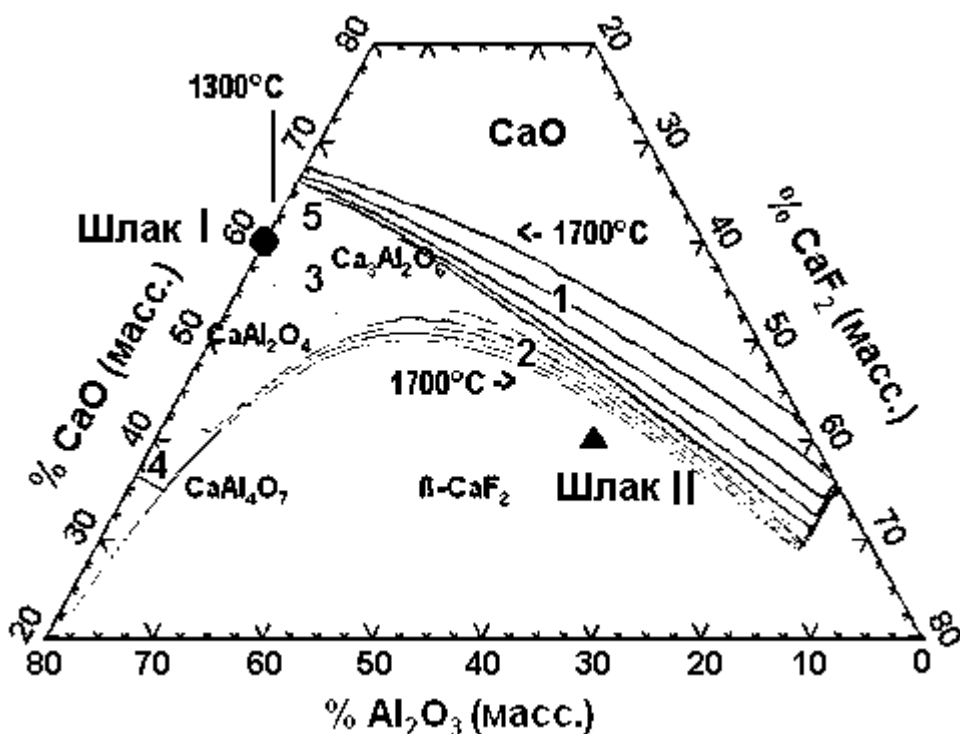
¹НМетАУ, Днепропетровск, ²ПАО «Днепроспецсталь», Запорожье

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ
МАССООБМЕННЫХ РЕАКЦИЙ В ОКСИДНО-ФТОРИДНЫХ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ШЛАКОВЫХ РАСПЛАВАХ ПРИ
ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОСТАЛИ**

В сквозной технологии электроплавильного производства обязательным компонентом технологической схемы является внепечная обработка металла на установке печь-ковш (УПК) оксидно-фторидными шлаковыми расплавами [1].

В настоящей работе выполнено компьютерное исследование фазовых равновесий в двух модельных системах: бесфторидной окисной (I) (55% CaO, 35% Al₂O₃, 10% SiO₂) и оксидно-фторидной (II) (50% CaO, 20% Al₂O₃, 10% SiO₂, 20% CaF₂). Термодинамический расчет равновесия в оксидно-фторидных системах производили с использованием баз данных «FactSAGE» версия 6.2. Для определения равновесного состава жидких и твердых фаз в четверной системе CaF₂-Al₂O₃-SiO₂-CaO рассчитана и построена диаграмма с учетом полиморфизма всех возможных компонентов и растворов. Проекция ликвидус этой системы показана на рисунке с изотермами через каждые 100 градусов между 1300 и 1700°C. Как следует из рисунка, рафинирующий шлак I на УПК (55%CaO, 35%Al₂O₃, 10%SiO₂, практически не содержащий фторид кальция, кристаллизуется с образованием алюминатов CaO·Al₂O₃ и 3CaO·Al₂O₃. Шлак оксиднофторидной системы II находится в равновесии с первичной фазой β-CaF₂ вплоть до 1700°C и имеет двухфазную структуру. С целью определения равновесного состава всех сосуществующих фаз проведены расчеты фазовых равновесий методом минимизации свободной энергии для этих составов шлаков с добавкой 1 г аргона к 100 г исходного шлака для стабилизации газовой фазы. Это эквивалентно плавке шлака в инертной атмосфере. Расчеты

выполняли для интервала температур 1300-1700°C и при давлении 101 кПа. В газовой фазе учтены следующие компоненты, для которых расчетные парциальные давления превышали 10^{-25} кПа: элементы O, O₂, F, Al, Si, Si₂, Ca; оксиды AlO, Al₂O, фториды AlF₃, (AlF₃)₂, SiF, SiF₂, SiF₃, SiF₄, CaF, CaF₂ и оксифториды OAlF, OAlF₂, OSiF₂.



Результаты термодинамического моделирования поверхности ликвидус системы II -CaO-CaF₂-Al₂O₃-10%SiO₂ в интервале 1300-1700°C; цифр показывают твердые фазы, находящиеся в равновесии с жидкостью: 1 - MeO, 2 – β-CaF₂, 3 - CaO·Al₂O₃, 4 - CaO·2Al₂O₃, 5 – 3CaO·Al₂O₃

При охлаждении ниже 1400°C в конденсированных фазах появляются алюминаты кальция, следует отметить, что при температуре ниже 1500°C появляется силикат кальция. При термодинамическом моделировании фазовых равновесий в системе «конденсированная фаза – газовая фаза» учтены все газообразные компоненты, расчетные парциальные давления которых превышали 10^{-25} кПа. Из всего множества компонентов в равновесной газовой фазе системы «шлаковый расплав – газ» выбраны 10, а в системе «оксидно-фторидный шлак II – газ» 20 соединений. В газовой фазе над шлаком I наиболее высокое парциальное давление имеет соединений SiO_{газ} (P_{SiO} 1600°C) $3,52 \cdot 10^{-9}$ кПа и $1,2 \cdot 10^{-7}$ кПа, тогда как для шлака II (P_{AlO} 1600°C) = $4,32 \cdot 10^{-16}$ кПа и (P_{AlO} 1800°C) = $8,62 \cdot 10^{-15}$.

Из множества химсоединений и атомизированных компонентов, равновесной газовой фазы сошлаком II, выбраны и табулированы 25. Наиболее высокие парциальные давления имеют соединения $\text{CaF}_{2(\text{газ})}$, OAlF_2 и $\text{AlF}_{(\text{газ})}$ (численные значения парциальных давлений в диапазоне температур от 1300 до 1700°C обобщены в таблице).

Результаты моделирования фазовых равновесий в модельной системе

$\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-10\%SiO}_2$ (шлакII) по определению парциальных давлений в газовой фазе, кПа

Соединение	Парциальное давление соединений при температуре, °C					
	1300	1400	1500	1600	1700	1800
CaF_2	$8,96 \cdot 10^{-6}$	$5,60 \cdot 10^{-5}$	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$3,56 \cdot 10^{-3}$	$1,06 \cdot 10^{-2}$
OAlF_2	$7,14 \cdot 10^{-7}$	$9,94 \cdot 10^{-6}$	$7,17 \cdot 10^{-5}$	$3,60 \cdot 10^{-4}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$	$5,61 \cdot 10^{-3}$
AlF	$2,41 \cdot 10^{-7}$	$3,87 \cdot 10^{-6}$	$2,812 \cdot 10^{-5}$	$1,40 \cdot 10^{-5}$	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-3}$
AlF_3	$5,38 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$7,56 \cdot 10^{-6}$	$3,74 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$5,65 \cdot 10^{-4}$
SiF_4	$1,98 \cdot 10^{-11}$	$7,78 \cdot 10^{-10}$	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$5,01 \cdot 10^{-8}$	$2,44 \cdot 10^{-7}$	$9,38 \cdot 10^{-7}$
OSiF_2	$1,51 \cdot 10^{-12}$	$5,70 \cdot 10^{-11}$	$9,53 \cdot 10^{-10}$	$6,22 \cdot 10^{-9}$	$3,76 \cdot 10^{-8}$	$1,80 \cdot 10^{-7}$
SiO	$2,41 \cdot 10^{-10}$	$3,74 \cdot 10^{-6}$	$4,47 \cdot 10^{-10}$	$3,52 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-8}$	$1,22 \cdot 10^{-7}$

Таким образом, при массообменных реакциях в бесфтористых шлаках наиболее высокое парциальное значение имеет SiO (P_{SiO} 1600°C) $3,52 \cdot 10^{-9}$ и $1,2 \cdot 10^{-7}$ при 1800°C. При обработке подшипниковой стали на УПК известково-фторидкальциевым шлаком II потери фтора обусловлены в основном испарением CaF_2 и в меньшей мере вследствие образования соединений OAlF_2 и AlF_2 . При содержании CaF_2 в шлаке 25% CaF_2 , 35% Al_2O_3 и 10% SiO_2 парциальные давления SiF_4 и OSiF_2 на порядок ниже в сравнении с потерей фтора вследствие испарения CaF_2 , оксифторида OAlF_2 или фторида AlF_2 . Полученные в работе научные результаты могут быть использованы при выборе эффективных составов ТШМ (известь + плавиковый шпат) и SiO_2 при обработке на УПК подшипниковых и других сталей.

Список литературы

1. Панченко А.И. Инновационная технология выплавки электростали ШХ15СГ-В / А.И. Панченко, А.С. Сальников, М.И. Гасик // Сталь. - 2011. –

В. Г. Герасименко¹, Д. А. Мусунов², Е. В. Синегин¹, Л. С. Молчанов¹

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;

²ТОВ «МЗ Дніпросталь», г. Днепропетровск

ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЕ МОДУЛИ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

На современном этапе развития мировой промышленности в целом и машиностроения, в частности, особую роль начинают выполнять металлургические предприятия специализирующиеся на производстве горячекатанного листового проката. Данный аспект связан с применением стального листа в качестве основного конструкционного материала для производства корпусов технологического оборудования.

Технологические операции производства листового проката по классической схеме (из твердых слитков) являются высоко энерго- и ресурсозатратными, поэтому в 70-е годы XX века была разработана и внедрена технология производства листового проката при помощи литейно-прокатных модулей на металлургических заводах США, КНР, Японии и стран Западной Европы. Общая схема установки ЛПМ представлена на рис.

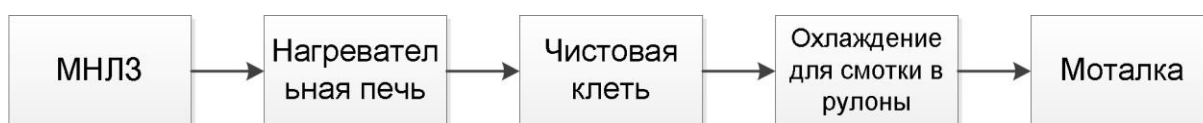


Рис. Общая схема установки ЛПМ для производства листового проката

Технология ЛПМ базируется на совмещении процессов непрерывной разливки стали и прокатки листа. За счет этого достигаются следующие параметры процесса производства:

- непрерывность производственного цикла от жидкой стали до горячекатанной полосы;
- сокращение расхода энергоресурсов на 40...60%;
- снижение уровня производственных издержек на 18...25%, сокращение капиталовложений на 35%;
- рост производительности труда в 4-5 раз;

- значительное улучшение качества готовой продукции (внутренней структуры, поверхности и геометрии, а также механических свойств и служебных характеристик);
- упрощение организационной и управленческой структуры производства.

Учитывая сортамент выпускаемой продукции, данная технология будет востребована на МК «Запорожсталь» и ММК Ильича, что позволит повысить конкурентоспособность отечественного горячекатанного листа на международном рынке металлопроката.

УДК 621.746.047

В. Г. Герасименко¹, Е. В. Синегин¹, Л. С. Молчанов¹, Д. А. Мусунов²

¹Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

²ТОВ «МЗ «ДНЕПРОСТАЛЬ»

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРНУЮ ОДНОРОДНОСТЬ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ

Строение непрерывнолитых слябов и их структура в значительной мере определяет качество металла после проката. Дефекты слябов (осевая и дендритная ликвация, а также осевая пористость) частично остаются и в прокатанном металле. Доказано, что степень дендритной ликвации при прокатке непрерывнолитых слябов уменьшается всего на 10-20% в зависимости от марки стали и сечения сляба [1].

Бороться с этими дефектами можно разными методами: внешним воздействием на жидкий кристаллизующийся металл, «мягким» обжатием затвердевающего непрерывнолитого сляба и др.

В данной работе рассматривается один из физических методов борьбы с перечисленными дефектами – электрогидроимпульсное воздействие (ЭГИВ) на жидкий и кристаллизующийся металл, основанный на выделении в электроразрядном генераторе упругих колебаний энергии (ЭРГУК), запасенных в колебательном контуре тока, и передаче их через гибкую мембрану в формирующийся непрерывнолитой сляб, что вызывает перемешивание расплава, которое способствует разрушению дендритов, являющимся

дополнительными центрами кристаллизации и распределению их в объеме расплава.

В отличие от других способов воздействия, данный метод характеризуется высокими энергетическими показателями и пригоден для обработки больших масс металла, что является немаловажным при непрерывной разливке стали.

Как показало физическое моделирование, радиус воздействия ЭРГУК равен ~1,5 м. Исходя из этого, блоки ЭРГУК устанавливали таким образом, чтобы вся жидкая фаза, находящаяся в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ попадала под электрогидроимпульсное воздействие. Блоки ЭРГУК были установлены в зоне вторичного охлаждения на двух горизонтах: один на месте третьего ролика, на расстоянии 2000 мм от мениска металла в кристаллизаторе, второй, подобной конструкции, – на месте двенадцатого ролика, на расстоянии 4250 мм от мениска металла в кристаллизаторе.

Эксперименты проводили на четырёхручьевой вертикальной МНЛЗ Донецкого металлургического завода при разливке стали СтЗсп согласно действующей технологической инструкции. Методика проведения исследования и анализ экспериментальных данных приведены в работах [2,3].

Исследование неоднородности литого металла, обработанного при пониженных энергетических параметрах, по серным отпечаткам показало, что осевая ликвация в опытном металле при всех режимах воздействия закономерно снижается. Это выявлено как на поперечных, так и на продольных темплетах: в среднем бал химической неоднородности снизился в 1,8 раза. Применение ЭГ-воздействия на расплав приводит к изменению характера ликвации: уменьшается количество участков, поражённых шнуровой ликвацией, и наблюдается переход последней в V-образную ликвацию.

Для слябов, отлитых с применением ЭГ-воздействия на верхнем уровне ЗВО с энергией в импульсе 3,75 кДж наблюдается преобразование шнуровой ликвации в V-образную, оцениваемую в 0,65 балла и осевую рыхлость 0,7 балла, по сравнению с 1,1 и 1,15 балла в контрольном слябе соответственно.

Список литературы

1. *Лапотышкин Н.И.* Строение осевой зоны непрерывного слитка и качество металла / Н.И. Лапотышкин // *Сталь*. – 1969. – №1. – С. 23-26.

2. Герасименко В.Г. Влияние электрогидроимпульсного на физическую однородность стали / В.Г. Герасименко // Бюллетень "Чёрная металлургия". – 2012. – №7. – С. 58-62.

3. Совершенствование структуры непрерывнолитой заготовки при внешнем воздействии на нее в предкристаллизационный период / Герасименко В.Г., Синегин Е.В., Бойченко Б.М., Молчанов Л.С. // Бюллетень «Чёрная металлургия». – 2014. – №2. – С. 59-64.

УДК 621.746.047

В. Г. Герасименко¹, Е. В. Синегин¹, Л. С. Молчанов¹, А. А. Пушкарёв²

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

²ПАО «ЗАПОРОЖСТАЛЬ», г. Запорожье

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОДА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА НЕПРЕРЫВНУЮ РАЗЛИВКУ СТАЛИ

В настоящее время на металлургических предприятиях Украины в довольно широких пределах проводится техническое перевооружение сталеплавильного производства с переводом с разлива стали в изложницы на непрерывную разливку и параллельным внедрением агрегатов внепечной обработки стали.

Основной целью привязки МНЛЗ к прокатному стану является экономия энергии, при этом для дальнейшего процесса используется тепло непрерывной разливки. Можно получить и другие преимущества: сокращение складского хозяйства, снижение энергозатрат нагревательной печи и уменьшить потери за счет окалины.

Переход на непрерывную разливку требует решения следующих задач:

- 1) выбор оптимального сечения непрерывнолитой заготовки;
- 2) обоснование типа и количества МНЛЗ;
- 3) выбор места расположения отделения непрерывной разливки стали;
- 4) согласование работы сталеплавильных агрегатов отделения непрерывной разливки прокатных станом;
- 5) обоснование технологий внепечной обработки стали и оборудования с учетом марочного сортамента предприятия;
- 6) уточнение специализации выпуска металлопродукции прокатными станами;
- 7) обоснование схемы передачи

сортовых заготовок к нагревательным печам прокатного стана; 8) определение необходимой степени реконструкции прокатных станов и решение вопроса дальнейшей эксплуатации блюмингов.

При этом возникают определенные трудности по разработке рациональной технологической схемы перевода сталеплавильного производства на непрерывную разливку с учетом того, что перевод может вызвать и некоторую реконструкцию прокатного производства предприятия.

Имеются различные возможности привязки МНЛЗ к мелкосортным и проволочным станам: холодная загрузка стана, горячая загрузка стана («горячий посад») и прямая прокатка [1]. На рис. представлен производственный процесс между МНЛЗ и прокатным станом.

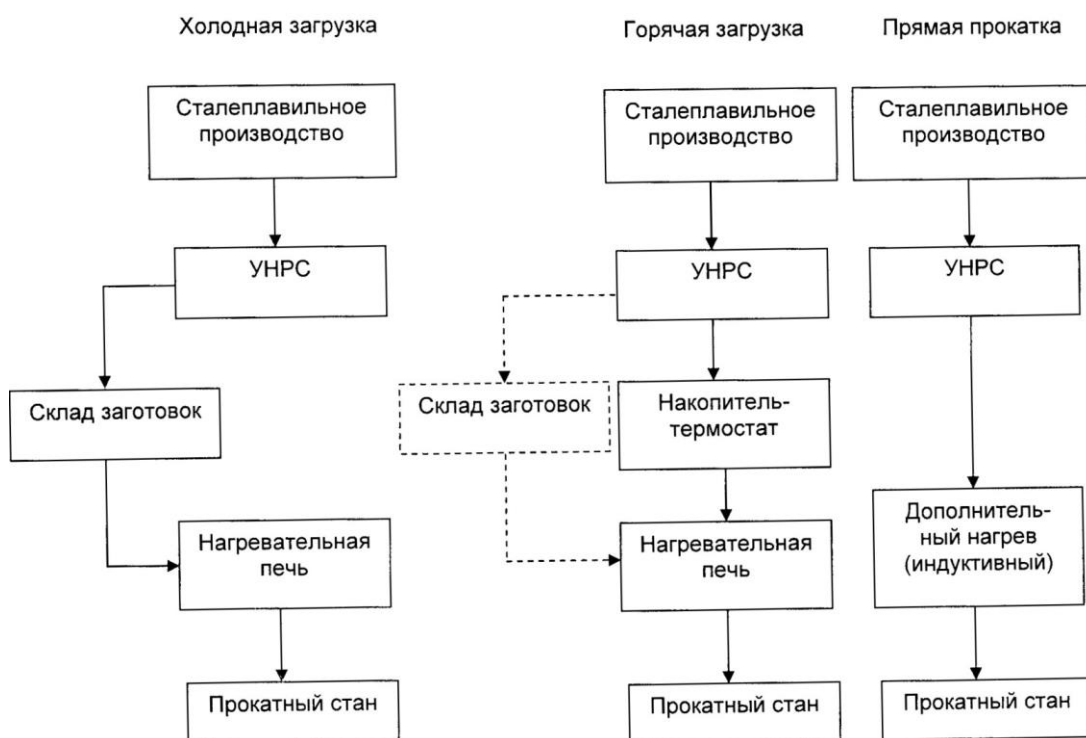


Рис. Производственный процесс на этапе между МНЛЗ и прокатным станом

Учитывая планировку прокатных цехов возможна установка накопителя-термостата с двухсторонней выдачей заготовок. Печи мелкосортных и проволочных станов реконструируются для высокотемпературного нагрева.

Список литературы

1. Свейновский У. Привязка УНРС к мелкосортным и проволочным станам. / У. Свейновский. – МРТ. – 1993. – С. 56-62.

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

КЛАССИФИКАЦИЯ ПУЛЬСАТОРОВ В СИСТЕМАХ ПУЛЬСАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Воздействие пульсаций на технологические и энергетические процессы показывают, что применение пульсаций в большинстве случаев начинается с воздействия пульсаций на процесс горения путем возбуждения колебаний компонентов взаимодействующих в процессе горения, то есть потоков газа и воздуха. В результате изменяется характер взаимодействия потоков газа и воздуха с образованием пульсирующих продуктов сгорания.

Независимо от воздействия пульсаций на горение, положительный эффект пульсаций на технологические процессы во многих случаях проявляется вследствие интенсификации тепломассобмена по сравнению с обычными стационарными процессами, то есть интенсификация тепло- и массобмена касается непосредственно и процесса горения, и последующих взаимодействий образовавшихся пульсирующих продуктов сгорания в энергетических и технологических установках.

Устройства для возбуждения пульсаций (пульсаторы) можно разделить на три основных класса: акустические, газодинамические и механические. Классификация устройств и принципы их реализации представлены на рис. 1.

В акустических пульсаторах генераторы звука, вызывающие пульсации, могут быть размещены непосредственно в горелочном устройстве (внутреннего действия) и снаружи (внешнего действия). Возможны также акустические пульсаторы комбинированного действия, например, путем поочередной работы генераторов звука, расположенных внутри горелочного устройства и снаружи.

В акустических пульсаторах совместного действия генераторы звука внутри горелочного устройства и снаружи работают одновременно. Во всех случаях акустические пульсаторы дают косвенное влияние на процесс горения, не изменяя кардинально газодинамическую картину процесса. Это ограничивает влияние пульсаций на процесс горения.



Рис. 1 – Классификация пульсаторов и принцип их реализации.

В газодинамических пульсаторах эффект пульсаций в значительной степени зависит от характеристик потока газа, например, от направления потока, скорости газа, давления и прочего. Обеспечить диапазоны частот, необходимые для настройки на резонансные частоты, представляется здесь весьма сложной задачей, так как изменение характеристик газового потока может привести к ослаблению или исчезновению пульсаций. Газодинамические пульсаторы работают стабильно и эффективно в строго определенном режиме движения газа, что исключает настройку частот путем изменения режима.

В механических пульсаторах перфорированные вставки, многослойные стенки и вибрирующие тела также не дают возможности регулирования резонансных частот пульсаций. Вставки и многослойные стенки неподвижны, что исключает изменение частоты пульсаций газа путем их перемещения.

Влияние вибрирующих тел на газовый поток весьма ограничено, вследствие ограниченной амплитуды вибраций. В связи с этим вибрация тел действует на поток газа косвенно без резкого изменения характеристик газа.

Контрастные изменения характеристик газа, необходимые для пульсаций, возможны путем периодической отсечки газа. Периодическую отсечку газа можно обеспечить вращающимися с определённой частотой механическими пульсаторами.

ПРИМЕНЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Интерес к пульсациям обусловлен их позитивным влиянием на характеристики технологических и энергетических процессов. В таблице 1 приведены данные о применении пульсаций.

Таблица 1.

Применение пульсаций в технологических и энергетических процессах

Способ осуществления пульсаций в различных процессах	Частота пульсаций, Гц	Позитивный эффект пульсаций
1	2	3
Пульсирующее дутье в кислородно-конвертерном производстве стали	50-100	Ускорение шлакообразования, активизация десульфурации и дефосфорации металла, сокращение продувки, снижение угара, увеличение выхода годного
Пульсирующий газовый поток при восстановительном обжиге	20-50	Сокращение продолжительности обжига и снижение энергозатрат
Пульсационное сжигание газообразного топлива в методических печах и нагревательных колодцах	15-40	Сокращение времени нагрева, снижение расхода топлива, уменьшение угара металла
Возбуждение пульсаций в камере горения доменного воздухонагревателя	3-15	Более равномерный нагрев насадки воздухоподогревателя, сокращение продолжительности нагрева и экономия топлива

Продолжение таблицы 1.

1	2	3
Наложение пульсаций при химико-термической обработке металлоизделий	$(3-15) \cdot 10^5$	Увеличение степени насыщения поверхности изделий упрочняющими присадками
Применение импульсного горения в технологии детонационного напыления твердослойных покрытий	1-5	Повышение износостойчивости покрытий
Пульсационное сжигание топлива при сушке сыпучих материалов	10-50	Сокращение продолжительности сушки, экономия топлива
Применение пульсационного горения при бурение скважин	1	Увеличение скорости образования скважин
Применение камер пульсирующего горения в технологии обезвоживания водонефтяных эмульсий	5-170	Бесфорсуночное распыление и повышение степени дожигания нефтешламовых отходов
Применение пульсационного сжигания в калориферах и котлах	30-120	Снижение недожога топлива, экономия топлива

Причины позитивных эффектов пульсаций, указанных в таблице 1, зависят от вида процесса, в котором применяются пульсации.

В целом, опыт применения пульсаций свидетельствует о высокой их эффективности, проявляющейся в заметном улучшении энергетических, технологических и экологических показателей процессов. Вместе с этим проявление пульсаций в каждой технологии носит индивидуальный характер и в каждом конкретном случае требует дополнительных исследований.

УДК 669.046.532

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ

Резонансные частоты в объеме муфеля электропечи можно получить вычислением на основе решения волнового уравнения Гельмгольца в цилиндрических координатах, которое для потенциала скорости Φ принимает вид:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где r – текущее значение радиуса,
 φ – текущее значение угла,
 c – скорость звука,
 z – координата вдоль оси муфеля.

Расчетная схема представлена на рис. 1.

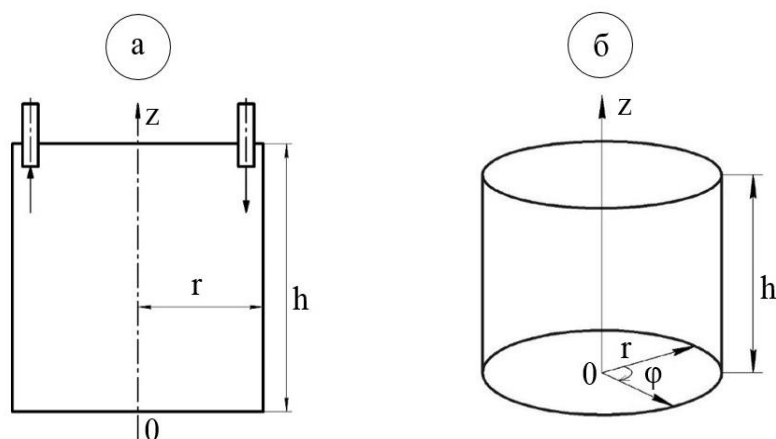


Рис. 1 – Расчетная схема резонансных частот:
 а – муфель печи; б – геометрические характеристики

В том случае, если в муфеле доминируют радиальные колебания, потенциал скорости Φ не будет зависеть от значения угла φ , а уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) выполнено методом разделения переменных и для потенциала скорости Φ примет вид:

$$\Phi(r, z, t) = J_0(k_r r) \cdot (A \cdot \sin(k_z z) + B \cdot \cos(k_z z)) \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (3)$$

При непроницаемой поверхности муфеля граничные условия должны удовлетворять условию исчезновения радиальной скорости на боковой поверхности муфеля. Исчезает также осевая скорость на днище и потолочную часть муфеля. Граничные условия принимают вид:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_r = 0, \quad (4)$$

$$\Phi(z) \Big|_{z=0} = \Phi(z) \Big|_{z=h} = 0. \quad (5)$$

Для собственных частот должны выполняться условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_r = \frac{n_i}{r}; \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_z = \frac{\pi \cdot m}{h}; \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_r^2 + k_z^2 = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c} \right)^2. \end{array} \right. \quad (8)$$

Решения системы уравнений (6) – (8) дает выражение для вычисления ряда собственных частот в цилиндрическом муфеле.

$$f = \frac{c}{2 \cdot \pi} \sqrt{\left(\frac{n_i}{r} \right)^2 + \left(\frac{\pi \cdot m}{h} \right)^2}. \quad (9)$$

Результаты расчета собственных частот для муфеля радиусом $r = 0,308$ м, высотой $h = 0,625$ м при скорости звука $c = 340$ м/с для первых четырёх корней составит: 272 (1), 544 (2), 816 (3), 1088 (4). При этом первый корень можно не учитывать, так как он соответствует нулевой частоте.

Сравнение измеренных и вычисленных по формуле (9) резонансных частот показало расхождение расчетных и экспериментальных значений частот в пределах 0,6 ч 5,9 %, то есть в допустимых пределах по условию точности

такого типа расчетов, что позволяет использовать резонатор Гельмгольца с определённой условностью для прогнозирования собственной частоты рабочего объема топки, печи или технологического агрегата.

УДК 669.046.532

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ ПУЛЬСАТОРА В СИСТЕМЕ ПУЛЬСАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Анализ устройств для возбуждения пульсаций позволяет выделить механические вращающиеся пульсаторы, которые путем изменения частоты вращения регулируют частоту пульсаций и, соответственно, обеспечивают настройку пульсатора на резонансные частоты.

Вариант вращающегося пульсатора с цилиндрическим прерывателем представлен на рис.1.

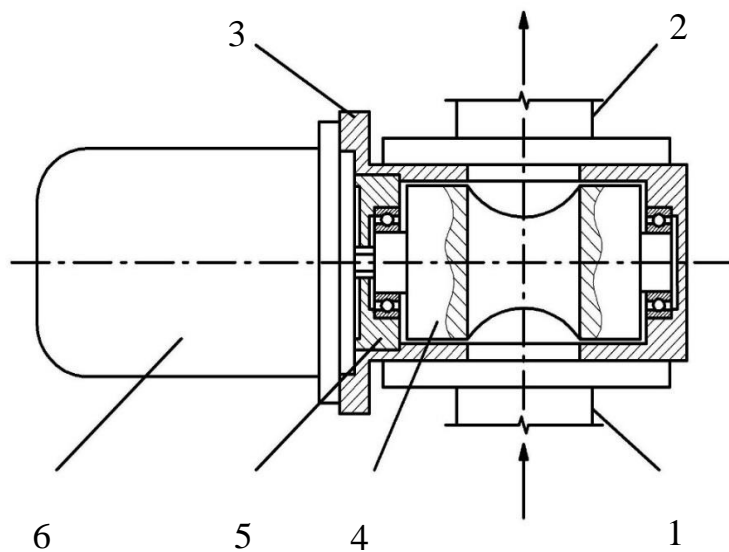


Рис.1 – Механический пульсатор с цилиндрическим прерывателем потока газа
1 и 2 – вход и выход газа (воздуха);
3 – корпус пульсатора;
4 – вращающийся цилиндрический прерыватель;
5 – обойма подшипников;

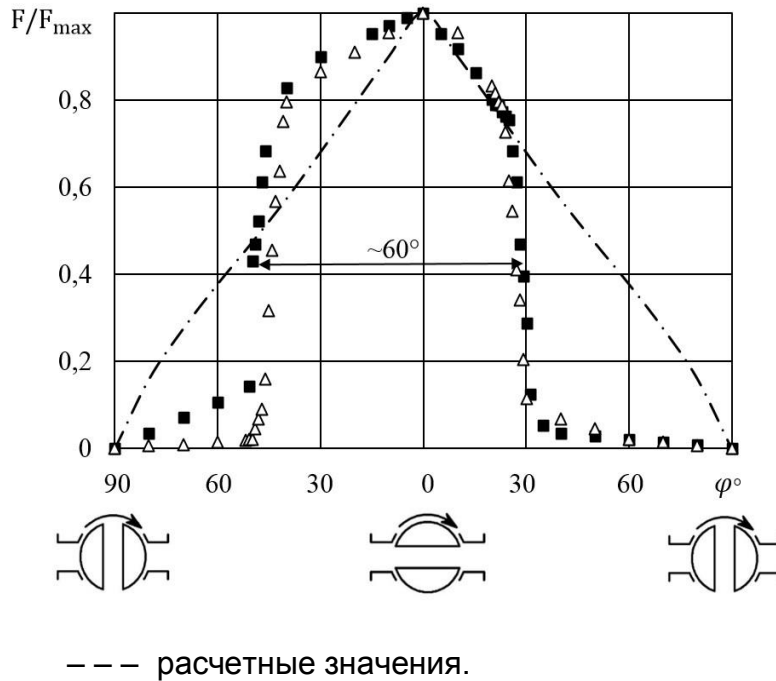
6 – корпус электродвигателя.

Пропускная способность пульсатора определялась тахометром со светолучевым первичным преобразователем.

Результаты измерений представлены на рис. 1 в виде изменения относительного проходного сечения пульсатора F/F_{\max} в зависимости от угла поворота (здесь F – площадь проходного сечения при определенном угле поворота φ ,

а F_{\max} – максимальная площадь проходного сечения).

Рис. 2 – Изменение относительного проходного сечения пульсатора в зависимости от угла поворота:



■ – первая серия измерений;
 Δ – вторая серия измерений;

На рис. 2 для сравнения с результатами измерений представлена расчетная кривая, полученная по формуле:

$$F = 2 \cdot \left[r^2 \cdot \arcsin \sqrt{\frac{x}{r}} \cdot \left(2 - \frac{x}{r} \right) - (r - x) \cdot \sqrt{x \cdot 2 \cdot (r - x)} \right], \quad (1)$$

где r – радиус сквозного отверстия цилиндрического прерывателя;

x – радиус сквозного канала (в виде эллипса при перекрытии проходного сечения), который определялся по формуле:

$$x = \frac{1}{2} \cdot D \cdot \sin \frac{\varphi - \varphi_0}{2}, \quad (2)$$

здесь D – диаметр трубопровода;

$$\varphi_0 = 2 \cdot \arcsin \frac{2 \cdot r}{D} \text{ – угловая величина дуги сектора при перекрытии}$$

проходного сечения;

φ – угол поворота цилиндрического прерывателя.

Данные, представленные на рис. 2, показывают расхождение расчётных и измеренных величин, что обусловлено отражением света внутри отверстия прерывателя и влиянием конструкции прерывателя на освещённость фотоэлемента.

Оценка работы пульсатора по изменению проходного сечения в процессе поворота показывает возможность прерывания потока газа или воздуха и, соответственно, возможность использования пульсатора, представленной конструкции, для создания пульсаций.

УДК 669.046.532

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ ПУЛЬСАЦИЙ

Наиболее эффективное проявление пульсаций следует ожидать в резонансных режимах, то есть, когда частота вынужденных колебаний, обуславливающих пульсации, совпадает с собственной частотой колебаний в рабочем объеме топки, печи или технологического агрегата. В случае резонанса оптимальные, то есть наиболее эффективные частоты пульсаций, достигаются с минимальными энергетическими затратами.

Для исследований выбрана электропечь СШЦМ – 6.6/9М1. Выбор объекта исследования обусловлен его доступностью для проведения акустического анализа в условиях максимально приближенным к промышленным.

Суть методики исследования заключалась в реализации физической аналогии рабочего объёма печи (муфеля) с резонатором Гельмгольца, который представляет собой колебательную систему, моделирующую резонансные частоты. Резонатор Гельмгольца действует как глушитель частот, на которые приходится резонанс.

Схема измерений для определения амплитудно-частотной характеристики рабочего объема печи с использованием штатного комплекта

исследовательской аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер» представлена на рис. 1.

Амплитудно-частотная характеристика рабочего объема печи определялась в следующей последовательности:

- звуковым генератором устанавливался приемлемый уровень сигнала с динамика (до 120 дБ);

- при постоянном уровне сигнала ступенчато изменялась частота сигнала в интервале от 3 до 1200 Гц;

- звуковое давление на выходе из полости муфеля измерялось установленными на двух уровнях микрофонами, разность показаний которых указывала на поглощение звука и, соответственно, на частоты, при которых следует ожидать резонанс.

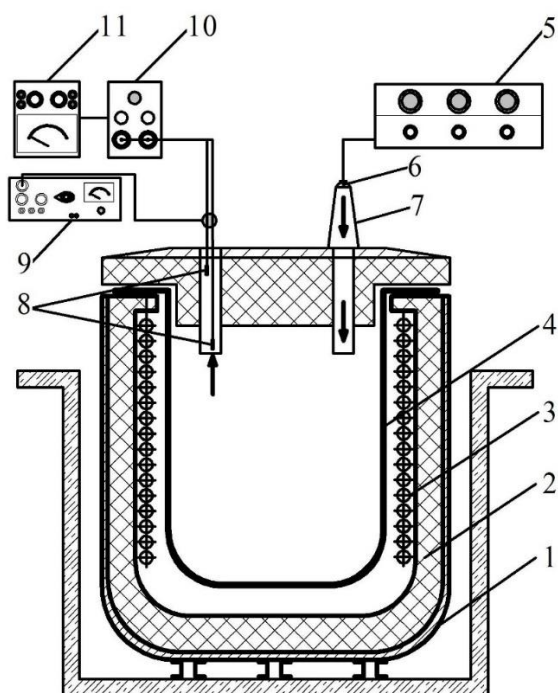


Рис. 1 – Схема измерений при определении амплитудно-частотной характеристики рабочего объема печи:

- 1 – кожух печи; 2 – футеровка;
- 3 – нагреватель; 4 – муфель;
- 5 – генератор звука (ГЗ 118);
- 6 – динамик (10ГРД-5); 7 – диффузор;
- 8 – микрофоны (M4134, M4165 RFT);
- 9 – шумомер (PSI – 202 RFT);
- 10 – двухканальный предусилитель (2807 «Брюль и Кьер»);
- 11 – индикатор уровня (M 2038).

Полученная амплитудно-частотная характеристика рабочего объема печи, представленная на рис. 2, показывает, что в рабочем объеме печи проявляется несколько возможных диапазонов резонансных частот. Наиболее контрастные диапазоны частот отмечены на рис. 2 пунктирами:

● 170-185 Гц, ● 500-595 Гц, ● 835-900 Гц, ● 1060-1160 Гц.

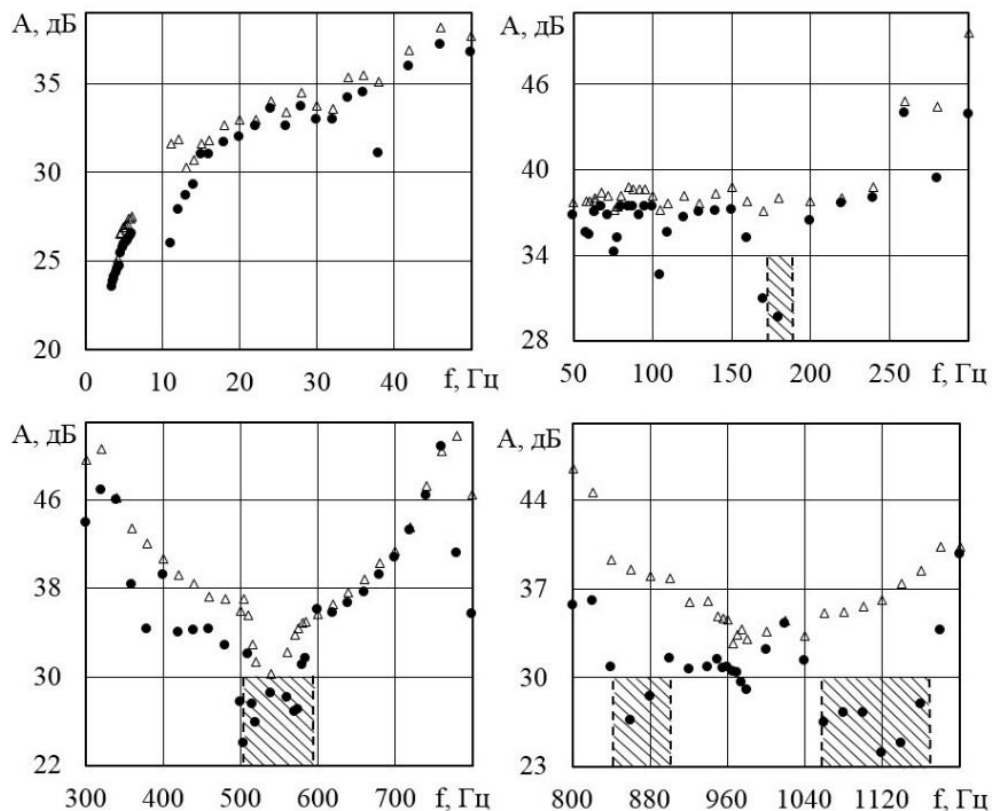


Рис. 2 – Амплитудно(A)-частотная(f) характеристика
рабочего объема печи (Δ - M4165, ● – M4134)

УДК 669.046.532

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПУЛЬСАТОРА В СИСТЕМЕ ПУЛЬСАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Достаточное проходное сечение пульсатора обеспечивается в диапазоне угла поворота около 60° относительно полного раскрытия сечения пульсатора. В этом интервале выполнено экспериментальное определение коэффициента местного сопротивления, обусловленного пульсатором при установке его на трассе газо- или воздухопровода.

В основу вычисления коэффициента местного сопротивления σ по результатам измерений положена формула Вейсбаха, которая для потери давления на пульсаторе ΔP имеет вид:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \text{Па} \quad (1)$$

где ρ – плотность газа, кг/м^3 ;

v – скорость газа, проходящего через пульсатор, м/с .

Из выражения (1) коэффициент местного сопротивления определяется по формуле:

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot v^2} \quad (2)$$

Потери давления на пульсаторе ΔP определялись разностью давлений до и после пульсатора, измеренной водяным U-образными манометром. Расход воздуха измерялся расходмерной тарированной трубкой Вентури. Измерения выполнены в статическом положении пульсатора.

Результаты экспериментального определения коэффициента сопротивления представлены на рис. 1. Здесь же для сравнения в соответствии с данными работ [1,2] приведены изменения коэффициента сопротивления для аналогичного по конструкции с пульсатором пробкового крана.

Из рис. 1 следует, что характер изменения экспериментальных значений коэффициента сопротивления соответствует данным, приведенным в работе [1,2]. Расхождение значений объясняется природой потоков. Экспериментальные значения получены для газа, то есть сжимаемого потока, а данные работ [1,2] для несжимаемой жидкости.

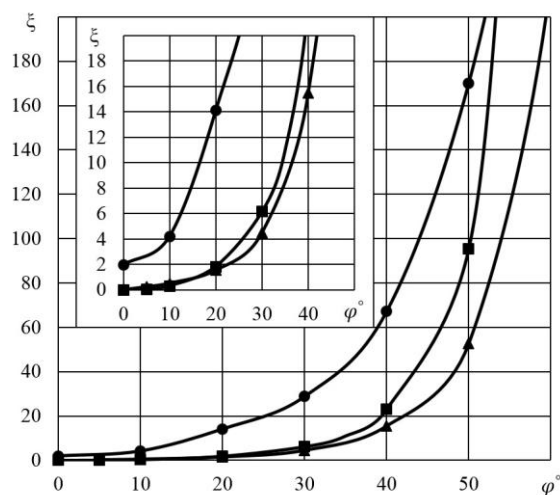


Рис. 1 – Изменение коэффициента сопротивления пульсатора в зависимости от угла поворота:

- – усреднённые экспериментальные значения; ■ – по данным работы [1];
- ▲ – по данным работы [2].

Данные, полученные о характеристике пульсатора, следует использовать для расчета газоздушной трассы при разработке системы пульсационно-резонансного сжигания топлива.

Список литературы

1. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. *Альтшуль А.Д.* Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. – М.:Стройиздат, 1975. – 323 с.

УДК 669.046.532

Ю. А. Гичёв, М. Ю. Ступак, М. Ю. Мацукевич

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУЛЬСАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА ПРИ СУШКЕ И РАЗОГРЕВЕ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША

Оценка эффективности пульсационного сжигания топлива выполнена путем анализа тепловых балансов. Анализ тепловых балансов заключается в сравнении величин полезно использованной теплоты и потерь теплоты.

К полезно использованной теплоте относятся расходы теплоты на нагрев рабочей кладки Q_p , арматурного ряда $Q_{ар}$, теплоизоляции $Q_{из}$ и кожуха Q_k , а также расходы теплоты на испарение влаги $Q_{исп}$ при сушке ковшей. Остальные расходы теплоты относятся к потерям: потери теплоты с уходящими газами $Q_{ух}$, от химического недожога топлива $Q_{хим}$, теплопередачей через футеровку ковша $Q_{ст}^{тп}$ и через крышку $Q_{кр}^{тп}$, а также потери теплоты на нагрев крышки $Q_{кр}$ и потери теплоты излучением через зазор между верхним срезом ковша и крышкой $Q_{изл}$.

Соотношение между полезно использованной теплотой и потерями теплоты представлено на рис. 1 и 2.

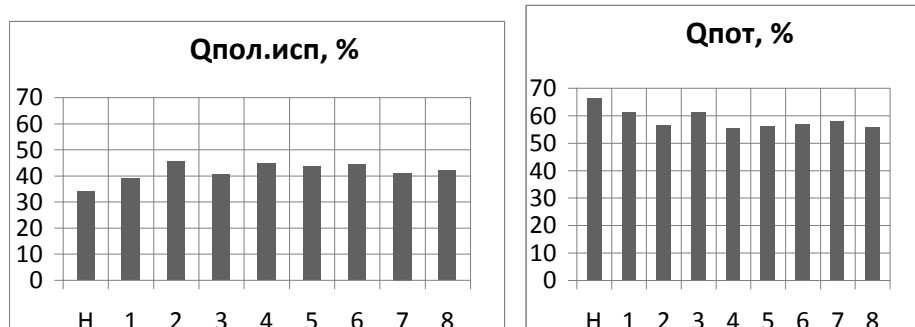


Рис. 1 - Соотношение между полезно использованной теплотой $Q_{\text{пол.исп}}$ и потерями теплоты $Q_{\text{пот}}$ при сушке сталеразливочных ковшей (Н – сушка нормативного ковша; 1...8 – номера опытов).

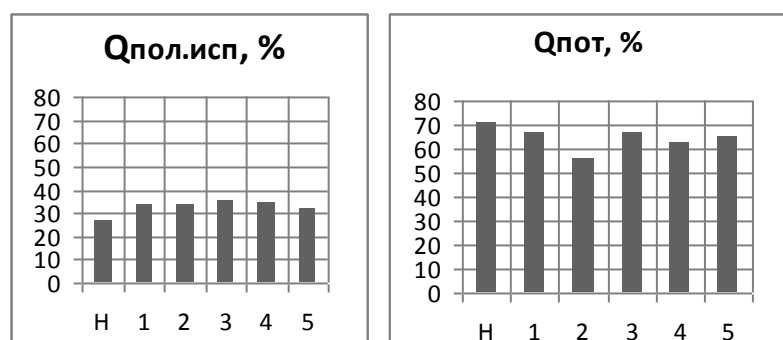


Рис. 2 - Соотношение между полезно использованной теплотой $Q_{\text{пол.исп}}$ и потерями теплоты $Q_{\text{пот}}$ при разогреве сталеразливочных ковшей (Н – сушка нормативного ковша; 1...5 – номера опытов).

В целом анализ тепловых балансов опытных режимов пульсационного сжигания топлива при сушке и разогреве сталеразливочных ковшей позволяет сделать следующее заключение:

а) При пульсационном сжигании заметно возрастает полезное использование теплоты топлива, что обеспечивает повышение к.п.д. термообработки и соответствующую экономию топлива по сравнению с обычной термообработкой ковшей.

б) Увеличение доли полезно использованной теплоты происходит в основном за счет увеличения аккумуляции теплоты кладкой, арматурным рядом и другими элементами корпуса ковша, что свидетельствует об интенсификации теплоотдачи от продуктов сгорания топлива к внутренней поверхности стенки ковша. Интенсификации теплообмена способствует также исключение застойных зон в рабочем объеме ковша вследствие пульсаций и увеличения активной тепловоспринимающей поверхности рабочего объема ковша.

в) Увеличению доли полезно использованной теплоты способствует также снижение химического недожога топлива, что снижает потери топлива и повышает температуру в рабочем объеме ковша, обеспечивая интенсификацию теплоотдачи.

г) При пульсационной термообработке существенно снижаются потери теплоты с уходящими газами.

Вышеуказанное позволяет заключить, что пульсационное сжигание топлива является эффективным способом его экономии при сушке и разогреве сталеразливочных ковшей и может быть рекомендовано для внедрения.

УДК 669.184

А. Д. Горбунов, Е. Н. Сигарев, Д. А. Семенова, Ю. В. Байдуж
Днепродзержинский государственный технический университет,
г. Днепродзержинск

РЕШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ В РАБОЧЕЙ ПОЛОСТИ КОНВЕРТЕРА МЕТОДОМ Э.М. ГОЛЬДФАРБА

Толщина сформированного гарнисажного слоя, зависит от продолжительности операции нанесения, температуры и теплоты затвердевания конечного шлака, температурного поля и теплового сопротивления футеровки. Тепловой поток через слой футеровки от стекающей по стене шлаковой суспензии обеспечивает увеличение объемной доли твердой фазы и образование твердого каркаса в объеме шлакового расплава. С увеличением толщины гарнисажного слоя повышается его собственное тепловое сопротивление и снижается тепловой поток к внешним слоям футеровки.

Если рассматривать слой, состоящий из термически тонких тел, и пренебречь контактной теплопроводностью между элементами слоя, и считать постоянными теплофизические свойства, включая коэффициент теплоотдачи, то для определения интенсивности теплообмена между отходящим газовым потоком и поверхностью футеровки можно воспользоваться решениями Э.М. Гольдфарба:

$$\text{- для температуры газа } \vartheta_r(F, Z) = \int_0^F e^{-(Z+\eta)} \cdot I_0 \cdot (2\sqrt{Z \cdot \eta}) \cdot d\eta \quad (1)$$

$\vartheta_r = \frac{t(z, \tau) - t_0}{\Delta t_0}$ - относительная температура; $F = \frac{\alpha f}{C'_r \cdot V_r}$ - критерий поверхности; $Z = A_1 \cdot (\tau - \tau_0)$ - критерий времени; $I_0(x)$ - модифицированная функция Бесселя; $\Delta t_0 = (t_n - t_0)$ - максимальный температурный напор, °С; t_n - температура поверхности слоя, °С; α - коэффициент теплоотдачи от футеровки к газу, Вт/м²К; $C'_r = \rho_{н.у.} \cdot C_p$ - объемная теплоемкость газа, Дж/(м³К); C_p - изобарная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); $f = \pi d_k z$ - текущая боковая поверхность слоя, м²; z - текущая высота слоя, отсчитываемая от оси симметрии дна конвертера, м; τ - время процесса, с; $\tau_0 = z/W$ - время тепловой обработки, т.е. время прохождения газом слоя высотой z ; разность $(\tau - \tau_0)$ можно трактовать как время контакта газа со стенкой слоя; $A_1 = \frac{k\alpha}{(C \cdot \rho)_\phi \cdot l_\phi}$; k - фактор геометрической формы, $k=1$ - для плоского, $k=2$ - для круглого канала; C_ϕ , ρ_ϕ и l_ϕ - теплоемкость, плотность и толщина футеровки; $V_r = V_0(1 + \beta t)$ - объемный расход газа, пересчитанный на реальные условия (температуру); V_0 - то же при нормальных условиях, м³/с; $\beta = 1/273$; $W = V_r/S$ - скорость течения газа, м/с; $S = \pi d_k^2/4$ - площадь сечения полости конвертера, м²; d_k - внутренний диаметр конвертера, м.

В случае линейной зависимости от температуры, средний расход газа можно найти по формуле $\overline{V}_r = V_0(1 + \beta t_{cp})$, (2)

где $t_{cp} = (t_n + t_0)/2$ - средняя температура газа за время продувки, °С.

Тогда средняя скорость газа будет $\overline{W} = \overline{V}_r / S$.

Предварительные расчеты показали, что коэффициент $A_1 < 10^{-4}$ и критерий времени $Z < 0,01$. Тогда можно воспользоваться разложением модифицированной функции Бесселя при малых аргументах $I_0(x) \approx 1 + x^2/4$. (3)

Подставляя (3) в уравнение (1) и интегрируя, получим

$$\vartheta_r(F, Z) = \int_0^F e^{-(Z+\eta)} \cdot (1 + Z\eta) \cdot d\eta = e^{-Z} [1 - e^{-F} + Z \cdot (1 - (1 + F) \cdot e^{-F})]. \quad (4)$$

По формуле (4) делаем расчет определения температуры азота в зависимости от высоты конвертера и длительности продувки, на основании которого строим график (рис 1).

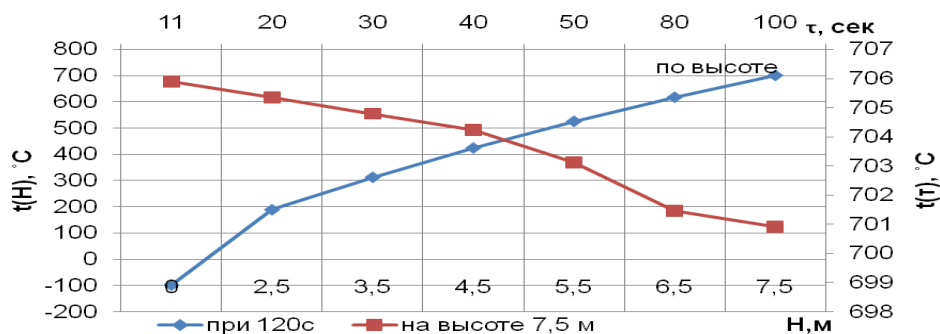


Рис.1 – Изменения температуры азота по высоте конвертера в зависимости от времени продувки.

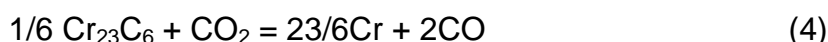
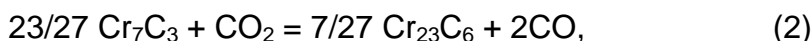
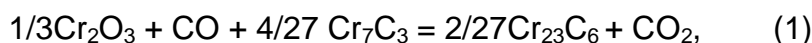
УДК 669.046.564

А. М. Гришин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ КАРБИДОВ ХРОМА В ТВЕРДЫХ ФАЗАХ

В температурном диапазоне, исключаящем расплавление шихты, углетермическое и комплексное восстановление оксида хрома (III) успешно развивается на этапах $Cr_2O_3 \rightarrow Cr_3C_2$ и $Cr_2O_3 \rightarrow Cr_7C_3$ [1,2,3]. Дальнейшее развитие процесса требует подъема температуры до 1828К, и выше. Об этом свидетельствуют расчеты, выполненные на базе совокупности реакций



Необходимые уравнения были получены путем преобразования выражений констант равновесия приведенных реакций в соответствие с алгоритмом, реализованным ранее. При равном соотношении углерод- (α) и водородсодержащих газов (β) в системе термодинамические (0,5+0,5), температуры начала комплексного восстановления Cr_2O_3 до $Cr_{23}C_6$ и до $Cr_{мет.}$ по нашим расчетам составляют 1894.01 и 1933.91К соответственно. В связи с

неприемлемо высоким уровнем T_p был произведен термодинамический анализ возможностей окислительного обезуглероживания карбидной фазы. Полученные данные о равновесном составе газа для заданных условий, приведены в таблице

Этап процесса	α/β	T, K	Состав газовой фазы, %			
			CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O
Cr ₇ C ₃ → Cr ₂₃ C ₆	0,25/0,75	1573	24,57	0,42	71,36	3,63
Cr ₂₃ C ₆ → Cr	0,25/0,75	1573	24,37	0,63	69,69	5,31

Совокупность результатов проведенного анализа свидетельствует о наличии термодинамических предпосылок организации окислительного обезуглероживания карбидов хрома в условиях умеренных температур – до 1623 К. Однако требуется дальнейшее исследование обезуглероживание на последнем этапе – до Cr. Предварительный термодинамический расчет свидетельствует о вероятности окисления металлического хрома газовой фазой до оксида хрома. Не вызывает сомнения возможность окислительного обезуглероживания на этапе Cr₇C₃ → Cr₂₃C₆.

УДК 669.094:669.26.097.3

А. М. Гришин, А. М. Горделюк

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ТВЕРДОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ Cr₂O₃ В УСЛОВИЯХ ХИМИКО-КАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Анализ литературных сведений, результатов собственных теоретических и экспериментальных исследований показал, что углетермическое восстановление Cr₂O₃ в области температур, исключающих образование расплавов, протекает в основном в соответствии с двухзвенной схемой А.А.Байкова. Кинетические закономерности углетермического восстановления Cr₂O₃ определяются преимущественно развитием звена газификации углерода. Об этом свидетельствует, в частности, ускорение процесса с ростом реакционной способности C_{ТВ} и увеличением содержания его в шихте. В этом же направлении действует измельчение углеродистого восстановителя. Расчет скорости углекислотной газификации C_{ТВ.}, выполненный нами, дал весьма

близкие результаты к наблюдавшемуся в наших исследованиях твердофазного восстановления оксида хрома углеродом. Таким образом, интенсифицирующие воздействия на звено газификации углерода должны форсировать восстановление оксида в целом.

С целью ускорения углетермического восстановления Cr_2O_3 нами было использовано химико-каталитическое воздействие на реагирующую систему путем ввода в шихту малых количеств солей K и Na. Экспериментально установлено влияние каталитических добавок на адсорбционную способность углеродистых восстановителей. Интенсификацию адсорбционно-химических взаимодействий подтвердили также наши исследования скорости поверхностных реакций.

Ввод катализатора при газификации графита приводит к снижению энергии активации со 148,3 до 135,1 Дж/моль.

Механизм влияния солей щелочных металлов на развитие реакции сводится к изменению структурной и электронной дефектности поверхностных слоев частиц $\text{C}_{\text{ТВ}}$. Определенный вклад в интенсификацию восстановления Cr_2O_3 вносит позитивное влияние испытанных добавок на развитие звена газового восстановления Cr_2O_3 . Механизм указанного действия солей щелочных металлов подробно рассмотрен нами ранее и обусловлен изменением структурной дефектности и электронного состояния оксида хрома (III). Таким образом добавки влияют на оба звена процесса, при преобладающей роли звена газификации $\text{C}_{\text{ТВ}}$.

УДК 669.094:669.26

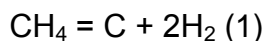
А. М. Гришин, И. С. Щеглова

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

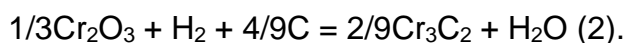
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАЗОВО-УГЛЕТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ Cr_2O_3 В ТВЕРДЫХ ФАЗАХ С УЧАСТИЕМ МЕТАНА

Разработка физико-химической базы комплексного восстановления Cr_2O_3 с участием неконвертированного природного газа обеспечивает предпосылки для создания технологического процесса извлечения хрома из рудных материалов в условиях невысоких температур, исключаящих

расплавление шихты. Метан успешно диспропорционирует на твердых поверхностях уже в низкотемпературной области. На реакционных поверхностях получают развитие реакции



и



Возможно восстановление Cr_2O_3 без предварительного перехода H_2 в газовую фазу:



Выполнен расчет равновесного состава газа при вариации температуры и суммы парциальных давлений реакционноспособных газов (β).

Переход от чисто газового к газовой-углеродному восстановлению Cr_2O_3 термодинамически разрешен при температуре T_p , отвечающей началу паровой газификации $\text{C}_{\text{ТВ}}$. Особенность этого звена процесса состоит в образовании, наряду с водородом, смеси $\text{CO} - \text{CO}_2$. Равновесные давления этих газов зависят от температуры, общего давления газовой фазы и величины α/β , где $\alpha = P_{\text{CO}} + P_{\text{CO}_2} = 1 - \beta$. Расчет равновесных давлений водородсодержащих газов при T_p аналогичен приведенному выше для $T < T_p$. При температурах, превышающих T_p , свободный углерод нестабилен и не участвует в равновесии реакций комплексного восстановления Cr_2O_3 .

Во втором этапе рассматриваемого процесса ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3$) в качестве твердого восстановителя выступает карбид Cr_3C_2 . Расчет температуры начала восстановления аналогичен примененному выше. На третьем этапе (Cr_2O_3 до Cr_{23}C_6) восстановителем выступает Cr_7C_3 .

Восстановления оксида с переходом $\text{Cr}_7\text{C}_3 \rightarrow \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ требует увеличения энергетических затрат. Одновременно создаются условия для появления расплавов, что не согласуется с направленностью настоящей работы на получение порошковых материалов и железохромистых лигатур в твердом состоянии. Поэтому продолжение теоретических и экспериментальных исследований связано с определением путей обезуглероживания Cr_{23}C_6 вне рамок процесса восстановления Cr_2O_3 .

С. Г. Грищенко¹, С. М. Лупинос², Д. В. Прутцков³

¹ПКП «УКРЦВЕТМЕТ», г. Харьков, ²ГП «ГНИП Институт титана», г. Запорожье,

³ООО «Технохим», г. Запорожье

О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ ГРАНУЛЬНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ТИТАНА

Главным фактором, сдерживающим рост потребления титана, является его относительно высокая стоимость. Поэтому исследования и поиск альтернативных технологий производства титана, предполагающих снижение его себестоимости, сегодня не утрачивают своей актуальности [1].

Несомненный интерес и перспективу представляет субхлоридная технология восстановления металлов, разработанная в ИХХТ СО РАН [2], однако, в настоящее время ее отдельные стадии отработаны пока в масштабах лабораторной установки. Переход к освоению крупномасштабных аппаратов для большинства перспективных разработок сопровождается проявлением целого спектра неисследованных технических проблем. Вследствие этого сегодня ни одна из альтернативных технологий не вышла за пределы пилотных установок, не осуществила переход к крупнотоннажному производству, а магнетермический способ, по-прежнему, является основным и практически единственным способом получения первичного титана в промышленном масштабе.

Развитие современной техники требует создания материалов, надежно работающих в условиях высокотемпературного нагружения, повышенного износа, агрессивной среды. Одной из технологий создания новых материалов, а также производства изделий на их основе, является гранульная (порошковая) металлургия [3]. Технология осуществляет получение порошков сферической формы методом центробежного распыления, изготовление заготовок и их последующую обработку. Процесс позволяет получить готовые изделия заданной прочности, точных размеров и сложной формы без дополнительной или путем минимальной механической обработки. Получаемые сплавы широко применяются для изготовления деталей в авиа – и ракетостроении. Сегодня реализованы два способа получения гранул путем газоструйного распыления жидкого металла или центробежного плазменного распыления.

Освоение распыления высокоэнергетической плазмой вращающегося с большой скоростью электрода заданного состава создало возможность широкого применения в промышленности аддитивных технологий и 3-D принтеров для изготовления изделий из титановых и высокоомогенных композиционных порошков на основе редких металлов. Ужесточение в связи с этим требований к качеству титановых порошков (сферичности, гранулометрическому составу, содержанию примесей) требует усовершенствования технологий их получения.

В работе [4] показано, что интенсификация технологии получения первичного титана возможна путём исключения низкопроизводительных стадий и уходом от формирования массивного блока губчатого титана. Такая модернизация технологии и получение мелкодисперсных гранул титана может создать определенную перспективу аппаратного оформления непрерывного или полунепрерывного способа восстановления. Возобновление целенаправленного поиска технических решений с целью создания непрерывной технологии магниетермического получения титана, его аппаратного оформления, может стать оптимальным вектором модернизации современной технологии, позволяющим при позитивном решении упростить её аппаратное оформление, существенно понизить себестоимость титана, поднять выход титана в готовые изделия. Это создаст дополнительную возможность широкого использования современных аддитивных, PIM и MIM технологий для изготовления полуфабрикатов и изделий из порошкообразного или гранулированного титана.

Список литературы

1. *Нечаев В.Н., Цаплин А.И.* Обзор способов получения губчатого титана // Титан. – 2015. – № 3 (49). – С. 4-13.

2. *Парфенов О.Г., Пашков Г.Л.* Проблемы современной металлургии титана. Новосибирск: Из-во СО РАН, 2008. 279 с.

3. *Александров А.В., Кузнецов С.Ю., Демченков Г.Г., Афонин Е.А.* Перспективы дальнейшего развития и совершенствования гранульной металлургии // Титан. – 2015. – № 3 (49). – С. 39-41.

4. *Лупинос С.М., Грищенко С.Г., Прутков Д.В., Коцарь М.Л., Александров А.В.* Станет ли титан дешевле завтра? О перспективах разработки

непрерывной технологии магнитоермического производства титана // Титан. – 2015. – № 3 (49). – С. 14-21.

УДК 669.162.266

А. В. Двоеглазова, В. В. Бочка, С. Е. Сулименко, А. В. Сова, А. Н. Шафорост
Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА

В последнее время особое внимание уделяется качеству флюса, используемого в агломерационном производстве. В качестве флюса используют известьсодержащие материалы, такие как известняк или известь.

Улучшение качества флюса в агломерационном производстве возможно за счёт добавления других компонентов, которые могут ускорить процесс разложения известняка и интенсифицировать жидкофазное спекание при добавлении такого флюса в агломерационный процесс. Это возможно осуществить за счёт применения комплексных флюсов.

Одним из способов получения комплексного флюса является добавление железорудного концентрата к известняку с последующим обжигом на конвейерной машине, что требует исследования характера взаимодействия известняка с различными добавками.

В связи с этим был проведен теоретический анализ характера изменений термодинамических характеристик [1] реакции разложения известняка в различных условиях. Расчёт проводился с помощью математической программы[2]. Результаты теоретического анализа приведены на рис.1.1-1.2. По результатам исследования реакции разложения видно, что с увеличением температуры свободная энергия уменьшается. Добавка различных компонентов, таких как Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 дает большее снижение свободной энергии, что свидетельствует о более полном протекании реакции диссоциации известняка за счёт образования соединений извести с указанными оксидами. Энтальпия также определяется видом добавки к известняку. Из рис.1.2 видно, что наиболее тепломкий процесс – процесс образование силикатов кальция, а наименее – ферритов. Энтальпия мало зависит от температуры. Исключением

является процесс разложения извести в присутствии Fe_2O_3 , когда величина энтальпии скачкообразно увеличивается при температуре 1200°C . Резкий скачок энтальпии свидетельствует о появлении жидкой фазы.

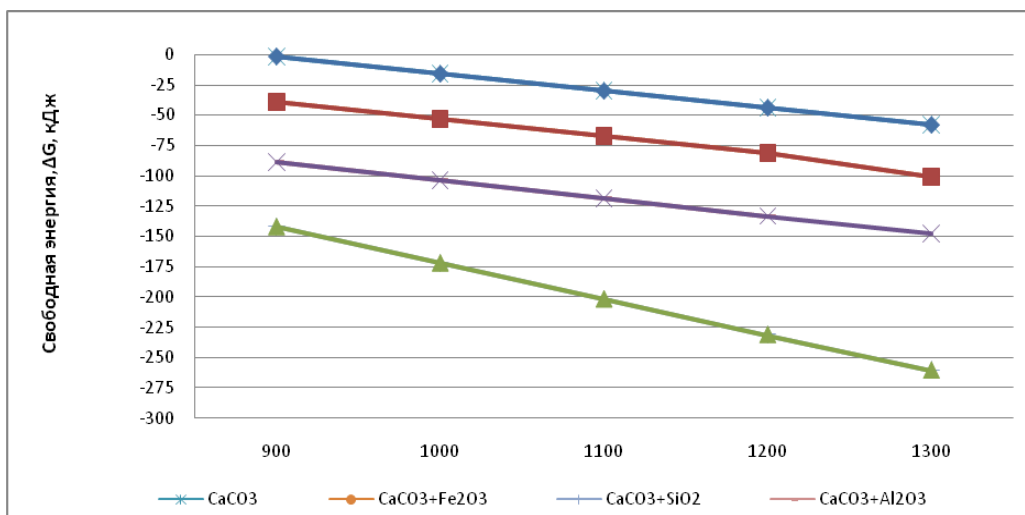


Рис.1.1 – Влияние температуры на изменение свободной энергии

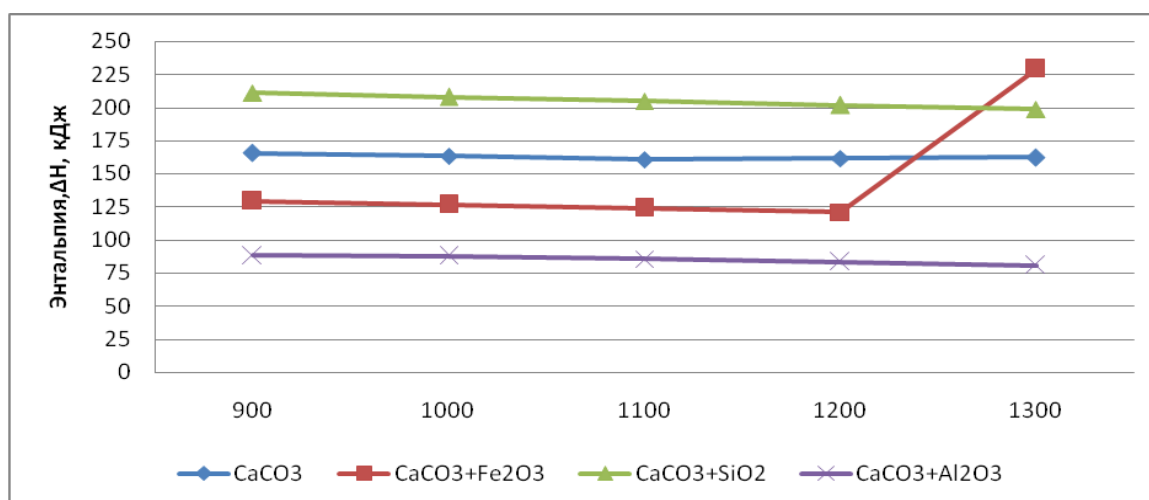


Рис.1.2 – Влияние температуры на изменение энтальпии

Теоретический анализ показал, что добавка железорудного концентрата к известняку и последующий обжиг на конвейерной машине, позволит образовываться соединениям извести с оксидами элементов входящих в состав концентрата. Образующиеся соединения аналогичны тем, что образуются при спекании агломерата и добавка таких соединений приведет к интенсификации процесса жидкофазного спекания.

Список литературы

- 1 В.Б.Охотский, А.Л.Котёлов и др. «Теория металлургических процессов» К.:ИЗМН, 1997 – 512с.
2. Математическая модель HSCChemistry 6.0, Финляндия, 2014р.

И. В. Деревянко, А. В. Жаданос

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УГЛЕРОДКАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ БРИКЕТОВ С МЕТАЛЛОМ- ПОЛУПРОДУКТОМ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

При выплавке стали в современных электрометаллургических комплексах и кислородно-конвертерных цехах науглероживание металла до заданного содержания углерода производят в ковше во время выпуска расплава из печного агрегата или во время обработки на установке «электропечь-ковш». Одним из материалов, которые используют в качестве науглероживателя являются вторичные углеродкарбидокремниевые материалы в сбрикетированном виде на цементной связке [1]. Наряду с выбором исходного компонентного и гранулометрического состава для получения брикетов, применяемых для науглероживания расплава в ковше, важным также является определение рациональных размеров брикетов. К размеру брикетов, используемых в ковшовой металлургии, предъявляются следующие требования: с одной стороны, брикет должен полностью про взаимодействовать с железоуглеродистым расплавом за время выпуска металла из сталеплавильного агрегата, а, с другой стороны, размеры его должны обеспечить минимальные потери за счет выноса материала из ковша конвективными потоками.

Процесс взаимодействия C-SiC-брикетов с железоуглеродистым расплавом можно разделить на несколько стадий: намораживание корочки расплава на поверхности брикета; плавление намороженного слоя; нагрев брикета до температуры плавления цемента и интенсивное стационарное плавление цементной связки, взаимодействие углерода и SiC с металлом.

Расчет стадий намораживания стальной корочки и ее растворения, а также прогрева брикета представляет собой задачу нестационарной теплопроводности с граничными условиями третьего рода. Проведенные компьютерные расчеты показали, что процесс плавления цементной связки и, следовательно, распада брикета в зависимости от его радиуса составляет от 3 до 17 мин (рис. 1) [2].

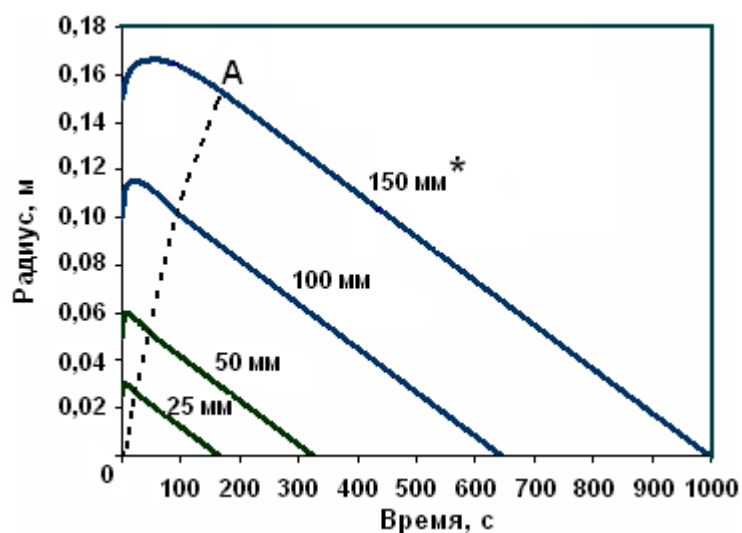


Рис. 1 Изменение радиуса системы брикет – корочка в зависимости от размеров брикета и времени пребывания брикета в расплаве температурой 1600°C *

* Числа у кривых – исходный радиус CSiC-брикетов; А – линия, разграничивающая область намораживания – плавления металлической корочки и область плавления цементной связи

По результатам выполненных при помощи разработанной математической модели исследований получена зависимость времени распада брикета в стальной ванне от его размеров:

$$\tau = 6,61 \cdot r_{\text{бр}} - 7,33$$

Это позволяет определять рациональный размер брикета при использовании в ковшевой металлургии. Радиус брикета в зависимости от емкости ковша выбирается в каждом конкретном случае из полученной зависимости.

Список литературы

1. Пат. РФ 2247158 МПК 7 С21С7/00. Способ внепечного легирования железоуглеродистых сплавов в ковше / А.Д. Подольчук, М.И. Гасик, В.В. Сербин, А.Н. Овчарук, И.А. Семенов, И.В. Деревянко, И.М. Щербань, опубл. 27.02.05. Бюл. №6.
2. Жаданос А.В. Теплофизическая модель взаимодействия углеродкарбидокремниевых брикетов с металлом-полупродуктом при внепечной обработке стали / А.В. Жаданос, И.В. Деревянко // Металлургическая

теплотехника: сб. науч. трудов Национальной металлургической академии Украины, 2013 - вып. 4 (19) - Днепропетровск: Новая идеология - С. 78-81.

УДК 621.73.016.2:672.719.9

В. А. Доморацкий

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ P6M5K5-МП

Исследование процесса кристаллизации стали P6M5K5-МП проводилось в большем объеме, что связано с тем, что на сегодняшний день в литературе практически отсутствуют данные относящиеся к структурообразованию при кристаллизации кобальтовых быстрорежущих сталей. В частности, подробное изучение высокотемпературных фазовых превращений в быстрорежущих сталях, выполненные методом «стоп - закалки» не позволили выявить перитектическое превращение в стали P6M5K5 даже при невысоких скоростях охлаждения, хотя косвенные признаки однозначно свидетельствовали о его существовании. Изучение структурообразования в стали P6M5K5-МП проводилось в интервале скоростей охлаждения $10^{-1} \div 10^6$ К/с позволили установить следующее. При значениях скорости охлаждения до 10 К/с затвердевание стали начинается с зарождения и роста дендритов δ - феррита. В отличие от других быстрорежущих сталей, даже на ранних стадиях своего образования дендриты не имеют регулярного строения, т.е. не образуют ориентированных в направлениях наибольшей упаковки ОЦК решетки осей первого и более высокого порядка. Первые кристаллы δ - феррита имеют округлое сечение ветвей и отличаются высокой степенью разветвленности. Вероятно это объясняется оттеснением в расплав малорастворимого в δ - феррите кобальта а также вольфрама и молибдена, коэффициент перераспределения которых на фронте роста твердой фазы также является положительным. При количестве жидкой фазы 12 \div 13% характер затвердевания изменяется. Это связано с зарождением на границе раздела δ - феррит/жидкость кристаллов перитектического аустенита. Аустенит зарождается в виде округлых кристаллов, которые имеют тенденцию к росту как

в сторону δ - феррита так и исходной жидкости. Однако, рост в сторону жидкости быстро прекращается и фронт роста аустенита начинает продвигаться исключительно в сторону δ - феррита. Главной особенностью перитектической реакции в рассматриваемой стали является высокая скорость ее осуществления. Подобно другим быстрорежущим сталям перитектический аустенит в стали Р6М5К5 растет в условиях постоянного контакта с жидкой фазой. На границе δ - феррита и аустенита присутствует жидкая фаза, сообщающаяся с основным количеством расплава посредством «каналов», через которые осуществляется основной диффузионный массоперенос компонентов. Жидкая фаза рассматриваемой стали отличается необычайно высокой степенью диспергирования. Так, по данным количественной металлографии средняя протяженность микроучастков жидкости внутри первичных зерен в 5-6 раз меньше, чем аналогичный показатель для стали Р6М5. Связанное с этим уменьшение размера ячеек аустенита и следовательно эффективного диффузионного расстояния является ускоряющим фактором перитектической реакции. Влияние скорости охлаждения на степень завершенности перитектической реакции в стали Р6М5К5-МП подобно ранее рассмотренной стали Р6М5-МП. Единственное отличие состоит в том, что кривая зависимости количества остаточного δ - феррита от скорости охлаждения в стали Р6М5К5-МП смещена вправо и область аустенитного состояния существенно расширена в сравнении с данными, полученными для стали Р6М5-МП. Помимо выше перечисленных факторов это объясняется также более высокой стабильностью перитектического аустенита, связанной с наличием в стали кобальта.

Список литературы

1. *Калинушкин Е. П., Доморацкий В.А., А. В. Балакин.* Розвиток уявленнь про перитектичну кристалізацію сплавів на основі заліза. – МіТОМ, Київ, 2001 г. – С. 23-30
2. *Доморацкий В.А.* Вплив параметрів спікання на механізм і кінетіку структуроутворення у порошкових швидко-різальних сталях. – В сборнике VI Международной конференции “Стратегия качества в промышленности и образовании”, 04.-11.06.2010, Специальный выпуск международного научного журнала Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus, Варна, Болгария, том I. – С. 204-207.

3. *Sanin A., Bobilev V., Domoratsky V., Berbencev V., Nikolaev V., Shpirka I.*
Metallurgical production assurance end of the cutting tool. – Theory and practice of metallurgy. № 1-2, 2015, - С. 95-98

УДК 620:172.251:621.182.3

А.О. Ерёмин, Е.В. Гупало

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

При производстве металлургической продукции наиболее значительная составляющая в энергоемкости имеет место в прокатном переделе. По некоторым данным её величина может достигать 78 % [1]. В Украине затраты на топливо и электроэнергию в себестоимости продукции в 2 – 2,5 раза выше, чем в США, Германии и Японии, поэтому одной из актуальных задач является повышение энергоэффективности существующих технологий и оборудования.

Кольцевые печи отечественных предприятий спроектированы на производительность, существенно отличающуюся от сегодняшних фактических показателей, и эксплуатируются в условиях частого изменения производительности в диапазоне 30 – 100 %. Это приводит к отклонению от заданных технологией конечных параметров нагрева металла и повышенному удельному расходу топлива. В настоящее время математическое моделирование является наиболее доступным инструментом исследования тепловой работы печных агрегатов и разработки рациональных режимов их эксплуатации. В работе [2] составлена математическая модель тепловой работы кольцевой печи, согласно которой печь разделена на две расчетные зоны теплообмена:

- первая по ходу движения не отапливаемая (методическая) зона, в которой динамика процесса нагрева описывается с использованием решения задачи нагрева термически массивных тел в противотоке при сосредоточенном подводе греющего газа и нелинейных граничных условиях теплообмена;

- последующие отапливаемые зоны (сварочные и томильная), для расчета которых используется решение задачи нагрева тел в противотоке при

распределенном подводе топлива и линейных граничных условиях теплообмена.

С использованием математической модели выполнены исследования тепловой работы кольцевой печи при известных способах нагрева металла: с постоянной длиной отапливаемых зон; с изменением длины отапливаемых зон путем отключения части горелочных устройств при снижении производительности. Анализ полученных результатов показал, что по удельным расходам топлива управление тепловой работой печи путем изменения длины отапливаемых зон имеет значительное преимущество, однако не позволяет обеспечить постоянное качество нагрева металла при переменной производительности [2].

На основе полученных результатов предложен новый способ нагрева металла с изменением длины отапливаемых зон печи в зависимости от производительности, предусматривающий установку дополнительных горелочных устройств в конце методической зоны [3]. Согласно этому способу управление нагревом осуществляется путем включения или отключения дополнительных горелок таким образом, что при снижении производительности длина отапливаемых зон увеличивается за счет сокращения длины методической зоны, а температура в зонах регулирования снижается. При этом распределение среднemasсовой температуры металла по длине печи поддерживается постоянным. В результате исследований определена зависимость длины отапливаемых зон печи от производительности. Показано, что реализация предложенного способа нагрева обеспечивает максимальную экономию топлива 11 кг ут/т (или 17 %) при снижении производительности до 30 % от максимальной. При средней производительности, 75 % от максимальной, обеспечивается экономия топлива 5,56 кг ут/т (10 %) [3]. Внедрение предложенного способа нагрева не представляет технических трудностей и может быть реализовано в любых печах непрерывного действия с распределенным подводом топлива по длине рабочего пространства с учетом специфики их конструкции и условий работы.

Список литературы

1. *Клівець П. Г.* Техніко-технологічний рівень вітчизняної металургійної галузі: напрями розвитку / П. Г. Клівець, О. Р. Логвиненко // Вісник Дніпропетровського університету. – Вип. 6/4, 2012. – С. 35–40.

2. Гупало Е. В. Энергоэффективная технология нагрева металла в кольцевой печи при переменной производительности прокатного стана / Гупало Е. В., Ерёмин А. О. // Обработка материалов давлением. – № 2 (39). – 2014. – С. 214- 215.

3. Гупало Е. В. Повышение энергоэффективности кольцевой печи в условиях переменной производительности / Гупало Е. В., Ерёмин А. О. // Экология и промышленность. – 2016. – №1. – С. 90-92.

УДК 661.68:669.046.001.57

А. В. Жаданос¹, И. В. Деревянко¹, В. Д. Жулина²

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

²ПАО "Запорожский абразивный комбинат", г. Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Карбид кремния является одним из важнейших искусственных неорганических материалов, который широко используется для производства абразивных инструментов, высокотемпературных нагревателей, огнеупорной керамики и в металлургии. Большую часть производимого мировой промышленностью карбида кремния получают способом, предложенным Ачесоном в конце позапрошлого века. Сущность способа заключается в углеродотермическом восстановлении кремнезема за счет джоулевого тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через kern печи.

Процесс производства SiC очень трудоемок и требует больших энергетических затрат составляющих 7300-7600 кВт*ч/т. Доля электрической энергии в структуре себестоимости карбида кремния абразивного качества составляет 50-60%, при 60-70 т, выход товарной продукции составляет 10,5-11,5 т (15-19%). Поэтому, обеспечение максимального выхода продукта при рациональном расходе электрической энергии является важной производственной задачей. Основным критерием управления энергетическим режимом является характеристика шихтовых материалов и вид получаемого карбида кремния. Для разработки рациональных технологических режимов производства SiC по методу Ачесона требуется информация о процессах

формирования теплового поля печей и параметрах инициируемых этим полем химических реакций, поэтому целесообразно для получения информации об этих процессах использовать математическое моделирование.

Расчеты динамики теплового состояния реакционной зоны печи выполнялись методом конечных разностей с использованием ПЭВМ [1]. Результаты моделирования представлены на рис. 1. Зональное развитие восстановительных процессов обуславливает образование кроме карбида кремния промежуточных продуктов восстановительных реакций.

1. Зона I – область образования промежуточных продуктов реакции восстановления кремнезема углеродом. Представлена силосиконем и сростками, содержащих 40-60% SiC;

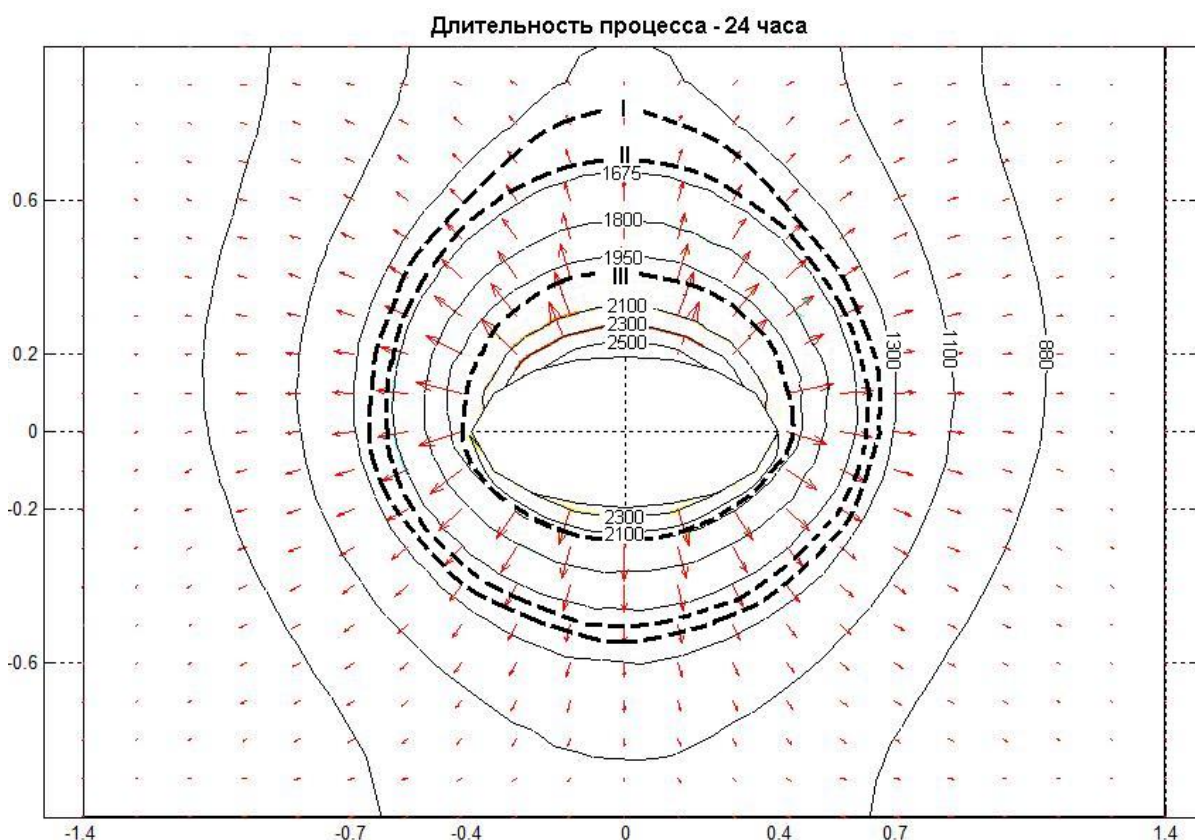


Рис. 1 – Распределение температурного поля по сечению реакционной зоны печи Ачесона по истечении 24 часов нагрева

2. Зона II – зона аморфа, представленная кристаллами β – SiC (70-85% SiC);
3. Зона III – крупнокристаллический абразивный α – SiC (92-98% SiC).

Установлено, что зона силосикона и сростков (I) имеет толщину в нижних и боковых частях 60 мм, а в верхней части – 190 мм. Зона аморфа (II), представленная кристаллами β – SiC имеет размеры соответственно 250 мм и 340 мм. Область крупнотоварного карбида кремния (III) в нижней и боковой

части имеет незначительную толщину – 120 мм, а в верхней части – до 300 мм. Несимметричность зон вызвана наличием восходящих потоков разогретых газов, прогревающих верхние горизонты шихтовой загрузки. Полученные размеры зон соответствуют данным промышленных плавов. Разработанная модель позволит разработать технологические рекомендации по ведению процесса производства карбида кремния.

Список литературы

1. *Derevyanko I.V.* Researching of thermophysical processes in Acheson furnace for the production of silicon carbide / I.V. Derevyanko, A.V. Zhadanos // Proceeding of The Fourteenth international ferroalloys congress INFACON XIV «Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry», Ukraine, Kiev, May 31-June 4, 2015, ISBN 978-617-696-339-4, KIEV, 2015 – Vol. 2. pp 555-560.

УДК 669.18

С. В. Журавлева, В. С. Мамешин, В. С. Цибулько

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

КВАНТАТИВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИВАРИАНТНОГО МЕХАНИЗМА ДЕСУЛЬФУРАЦИИ МЕТАЛЛА В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ

В настоящее время в металлургии большое внимание уделяется оптимизации существующих технологий внепечной обработки стали, в частности связанных с удалением серы. Внепечное рафинирование и доводка стали в агрегате ковш-печь (АПК) по праву занимает лидирующее положение в цепи технологий внепечной обработки стали, в том числе с целью снижения содержания серы. При изменении в достаточно широких пределах исходного содержания серы в стали (0,03–0,09 %) и заданного конечного значения ($\leq 0,002$ –0,020 %) внепечная обработка стали в АКП позволяет обеспечить достаточно значительное очищение расплава от серы. В то же время, не вся практика внепечной обработки стали в АКП является рациональной, что можно объяснить недоработками в части теоретических и экспериментальных

исследований, степени технологической завершенности реализуемого процесса.

Целью работы являлось теоретически-аналитическое исследование массообменных процессов, изучение вопросов механизма и кинетики внепечной десульфурации стали в агрегате ковш-печь.

Современные методы десульфурации в АКП основываются на различных способах удаления серы [1-4]: использование твердых шлаковых смесей, рафинирующих шлаков разного химического состава, применения РЗМ, обработку порошковой проволокой с различными наполнителями. В каждом из методов процесс удаления серы может протекать по различным механизмам десульфурации. Трудности получения низких и сверхнизких концентраций серы в металле связанные с торможением диффузных процессов за счет насыщения шлакового покрова и необходимостью постоянного обновления реакционной поверхности.

В работе показано, что десульфурация стали в АКП протекает по двум различным механизмам: удаление серы из металла, при взаимодействии с сильными сульфидообразующими элементами (например, Ca, Mg) и диффузия серы из металла в шлак, с последующим развитием взаимодействия в объеме шлака. Для первой схемы весьма актуально как развитие массообменных процессов в расплаве между реагентом и растворенной серой, так и «эвакуация» образующихся сульфидов из стали в покровный шлак, то есть удаление неметаллических включений. Существует несколько способов удаления неметаллических включений: перенос неметаллических включений потоками стали и флотация неметаллических включений газовыми потоками [5].

Для второго механизма десульфурации справедлива необходимость активизации подачи расплава к поверхности раздела металл – шлак и развития последующего активного взаимодействия металла и шлака.

Экспериментально на 60-тонных и 120-тонных ковшах получены фактические данные удаления серы за счет как высокоосновного CaO-содержащего шлака, так и ввода SiCa-содержащей проволоки. На основе этих данных определено, что осаждающий механизм обеспечивает удаление около 37 % серы, а диффузионный – около 63 %.

Выводы. В работе определена доля участия каждого из механизмов и дана оценка лимитирующих звеньев процесса десульфурации для различных механизмов удаления серы в АКП.

Список литературы

1. Агрегат внепечной обработки стали как средство создания современной технологической схемы производства стали [Текст] / М.П. Галкин, В.С. Римкевич, С.А. Иодковский и др. // Бюл. Ин-та «ЦНИИ «Черметинформация». – 1997. – № 9– 10. – С. 41 – 42.
2. Дюдкин, Д.А. Производство стали на агрегате ковш-печь [Текст] / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг. – Донецк: ООО «Юго-восток, Лтд», 2003. – 300 с.
3. Иодковский, С.А. Состояние и перспективы развития внепечной обработки стали [Текст] / С.А. Иодковский // Труды Четвертого конгресса сталеплавильщиков, 1997, – С. 237 – 243.
4. Определение параметров процесса рафинирования стали с ультранизким содержанием серы в ковше-печи [Текст] / Jiang Zhouhua, Zhang Heyan, Zhan Dong-ping and al. // J. Northeast Univ. Natur. Sci. – 2002. – 23. – №10. – P. 952 – 955.
5. Журавльова С.В. Вдосконалення технології обробки сталі в агрегаті ківш-піч на основі зміни співвідношення осаджуючого та дифузійного процесів видалення сірки: Автореф. дис. к-та техн. наук: 05.16.02 /Національна металургійна академія України.- Дніпропетровськ., 2014. - 22с.

УДК 696.184

Д. С. Зотов, И. Н. Костыря

ПАО "МК "АЗОВСТАЛЬ" г. Мариуполь

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБИДА КАЛЬЦИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ВЫПЛАВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ НА ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

На комбинате «АЗОВСТАЛЬ» карбид кальция для раскисления конвертерной стали первые 3 – 4 года использовался карбид кальция фракции 2 – 25 мм, в дальнейшем, в ходе его использования, была определена

технологическая целесообразность применения карбида кальция фракции 2 - 15 мм. Первоначально карбид кальция, расфасованный в герметически закрытые металлические барабаны массой нетто 25 кг, присаживали вручную, что характеризовалось: отсутствием технологичности присадки; отсутствием возможности точного дозирования материала на плавку; пониженной раскислительной способностью. В 2012 г в условиях предприятия была внедрена система автоматизированной подачи карбида кальция на выпуске из конвертера, что позволило снизить расход алюминия фракционированного АВ-87 и одновременно снизить затраты на раскисление стали на 20 %.

В рамках совершенствования технологии раскисления стали, на комбинате «Азовсталь» с августа 2013 г разработана и внедрена технология полной замены на выпуске плавки из конвертера алюминия фракционированного (чушкового) на карбид кальция при производстве металла с ограничением содержания серы в готовой стали не более 0.015%. Взамен алюминийсодержащих раскислителей в ковш при выпуске плавки из конвертера для раскисления стали начали использовать карбид кальция с массовым расходом на плавку 300 кг.

Разработка и промышленное внедрение технологии предварительного раскисления металла и шлака карбидом кальция позволили: снизить себестоимость стали за счёт снижения расхода чушкового алюминия и алюминиевой катанки (при раскислении карбидом кальция металла) и алюминия гранулированного (при раскислении карбидом кальция шлака) вследствие снижения содержания кислорода в жидкой стали и в шлаке; обеспечить производство продукции, соответствующей требованиям действующих стандартов без ухудшения качественных показателей стали.

УДК 696.184

А. Д. Зражевский, Д. В. Дербенёв

ПО «Металлургпром», г. Днепропетровск

ИТОГИ РАБОТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ ЗА 2015 ГОД

В начале 2015 года угледобывающие, коксохимические и металлургические предприятия Донбасса испытывали значительные трудности

с организацией производства и вывозом готовой продукции в условиях дефицита сырья из-за разрушенной транспортной инфраструктуры. Из-за отсутствия железорудного сырья в феврале-марте было полностью остановлено производство на «Донецкстали» и Енакиевском метзаводе. С середины февраля в режим «горячей консервации» были переведены все коксовые батареи на Алчевском, Донецком и Ясиновском коксохимических заводах, частично – на Авдеевском КХЗ, в результате чего усилился дефицит доменного кокса, что негативно отразилось на работе металлургов.

В результате, снижение уровня производства стали и проката, продолжавшееся с августа 2014 года, достигло своего пика в марте 2015 года (соответственно, 54,7 и 46,2 тыс.т в сутки). Начиная со 2 квартала ситуация несколько улучшилась, что позволило частично возобновить работу остановленным металлургическим и коксохимическим предприятиям: с середины марта – Енакиевскому метзаводу и Донецкому КХЗ, в апреле – метзаводу «Донецксталь», Алчевскому и Ясиновскому коксохимам. В июне была возобновлена выплавка чугуна на Алчевском МК, который стоял с августа 2014 года, а в июле – производство стали и сортового проката.

Производство основных видов металлопродукции в 2015 году составило: чугуна – 21,9 млн.т; стали – 22,9 млн.т; проката – 20,1 млн.т, или, соответственно, 88%, 85% и 85% от фактического производства 2014 года и 61%, 54% и 53% от уровня 2007 года, в котором были достигнуты наивысшие за последние два десятилетия показатели производства металлопродукции. Использование производственных мощностей основных металлургических агрегатов в 2015 году, составило: по чугуну – 54%, по стали – 56%, по готовому прокату – 43%.

По состоянию на 01.04.16. в работе находились 24 из 27-ми действующих доменных печей (89%), 6 мартеновских печей из 9-ти (67%), 17 конвертеров из 21-го (81%) и 6 электропечей из 16-ти (38%). Кроме того, 8 доменных печей находятся на длительной консервации (не работают более 1 года). В марте было возобновлено производство на метзаводе «Электросталь»(г.Курахово), который простаивал более двух месяцев.

Несмотря на сокращение объёмов производства, девальвация гривны привела к тому, что чистый доход (выручка) от реализации всей продукции, работ и услуг металлургических предприятий увеличился по сравнению с предыдущим годом на 27 млрд.грн. (+16%) и составил в 2015 году 194 млрд.грн.

В то же время значительный рост цен на основные сырьевые и топливно-энергетические ресурсы, снижение экспортных цен на металлопродукцию (в долларовом эквиваленте) и потери от курсовой разницы (при переоценке валютных заёмных средств и процентов по ним) привели к тому, что чистый финансовый результат работы метпредприятий после уплаты всех налогов составил (-)30 млрд.грн. против (-)26 млрд.грн. в 2014 году.

В 2015 году металлургическими предприятиями входящими в состав объединения “Металлургпром”, было выплавлено 22,9 млн.т стали, что составило 85% от объёма производства в 2014 году (-4,2 млн.т). Выплавка стали по видам составила: конвертерная сталь – 16,5 млн.т (72% от общей выплавки); мартеновская сталь – 5,2 млн.т (23%); электросталь – 1,2 млн.т (5%). По сравнению с 2014 годом объём выплавки конвертерной стали уменьшился на 17% (-3,4 млн.т), мартеновской – на 6% (-0,34 млн.т) и электростали – на 27% (-0,44 млн.т). При этом, снижение производства произошло на всех металлургических предприятиях, кроме «Евраз – ДМЗ им.Петровского» и меткомбината «Запорожсталь». Из общего объёма стали, выплавленной на метпредприятиях Объединения, на МНЛЗ было разлито 11,9 млн.т (52%) против 14,8 тыс.т (54%) в 2014 году. По видам стали на МНЛЗ разлито: конвертерной – 11,0 млн.т (67% от выплавки конвертерной стали); электростали – 0,9 млн.т (74% от выплавки электростали).

Лучшие показатели среди предприятий Объединения по расходу металлошихты на производство стали в 2015 году были достигнуты:

- конвертерная сталь – на «Евраз – ДМЗ им.Петровского» – 1114 кг/т;
- мартеновская сталь – на меткомбинате «Запорожсталь» – 1097 кг/т;
- электросталь – на метзаводе «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ» – 1140 кг/т.

О. С. Иванова, В. Н. Рыбак

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ШЛАКОВ ЭШП

Исследованию поверхностного натяжения оксидных и оксифторидных шлаков, к которым относятся рафинирующие шлаки ЭШП, посвящено большое количество работ, результаты которых обобщены в изданиях [1-4]. За рубежом существуют математические модели определения свойств шлаков [4], но они очень громоздки и неудобны в использовании. Кроме этого, они рассчитаны для составов шлаков, которые отличаются от отечественных.

Целью исследований является создание адекватных математических моделей для определения поверхностного натяжения шлаковых систем в зависимости от их состава и температуры, а также для расчета требуемого состава и температуры шлака для обеспечения заданного значения поверхностного натяжения.

Результаты математического моделирования. Наибольшее распространение при ЭШП получили шлаки на базе фтористого кальция с добавками оксидов. В последнее время все чаще применяются безфтористые шлаки.

Математические модели для шлаков разных систем приведены ниже:

- система $\text{CaF}_2\text{-CaO}$ (содержание CaF_2 – 30...100%, CaO – 0...70%, температура – 1400...1900°C):

$$\sigma = 0,485 + 2,33 \cdot 10^{-3} \cdot \%CaO - 1,29 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

- система $\text{CaF}_2\text{-MgO}$ (содержание CaF_2 – 30...100%, MgO – 0...70%, температура – 1300...1900°C):

$$\sigma = 0,575 + 2,87 \cdot 10^{-3} \cdot \%MgO - 1,84 \cdot 10^{-4} \cdot t$$

- система $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ (содержание CaF_2 – 5...95%, CaO – 0...70%, Al_2O_3 – 0...60%, температура – 1300...1700°C):

$$\sigma = -87,483 - 2,39 \cdot 10^{-3} \cdot \%CaF_2 - 1,70 \cdot 10^{-3} \cdot \%Al_2O_3 + 1,14 \cdot 10^{-1} \cdot t - 3,67 \cdot 10^{-5} \cdot t^2$$

- система $\text{CaF}_2\text{-CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ (содержание CaF_2 – 5...65%, CaO – 5...60%, SiO_2 – 2...20%, Al_2O_3 – 5...45%, MgO – 0...20%, температура – 1400...1700°C):

$$\sigma = 9,914 + 1,05 \cdot 10^{-3} \cdot \% \text{CaF}_2 + 2,73 \cdot 10^{-3} \cdot \% \text{CaO} + 1,28 \cdot 10^{-2} \cdot \% \text{SiO}_2 + \\ + 2,94 \cdot 10^{-3} \cdot \% \text{Al}_2\text{O}_3 - 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot t + 3,65 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$$

- система $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ (содержание CaO – 20...60%, SiO_2 – 30...70%, Al_2O_3 – 0...20%, температура – 1400...1700°C)

$$\sigma = -5,306 + 1,82 \cdot 10^{-3} \cdot \% \text{CaO} + 6,65 \cdot 10^{-4} \cdot \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \\ + 7,74 \cdot 10^{-3} \cdot t - 2,63 \cdot 10^{-6} \cdot t^2$$

где σ – поверхностное натяжение шлака, Н/м;

$\% \text{CaF}_2$, $\% \text{CaO}$, $\% \text{SiO}_2$, $\% \text{Al}_2\text{O}_3$ – содержание в шлаке компонентов CaF_2 , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , %;

t – температура шлака, °С.

Выводы. Рассчитанные математические модели зависимости поверхностного натяжения шлаков ЭШП от их состава и температуры показали высокую эффективность (степени достоверности аппроксимации для различных математических моделей лежат в пределах от 0,81 до 0,96 при уровне надежности 95%), что позволяет применять их в инженерных расчетах, а также в компьютерных программах, способных максимально точно и быстро определять параметры шлаков по их составу и температуре или подбирать состав шлаков по заданным параметрам.

Список литературы

1. Атлас шлаков. Справ. изд. [Текст] / Пер. с нем. – М.: Metallurgiya, 1985. – 208 с.
2. Акбердин А.А. Физические свойства расплавов $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaF}_2$. / А.А. Акбердин, И.С. Куликов, В.А. Ким – М.: Metallurgiya, 1987. – 144 с.
3. Прогнозирование свойств рафинировочных шлаков системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaF}_2$ / А.Ф. Хамхотько, Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, О.В. Кукса // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2004. — Вип. 9. — С. 170-177.
4. K.C. Mills, L. Yuan, R.T. Jones. Estimating the physical properties of slags // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – October, 2011. – Volume 111. – P. 649-658.

І. І. Іванов, О. В. Матухно

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ ПЕРСОНАЛУ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА

Професіоналізм і активність персоналу у вирішальній мірі визначають ефективність і безпеку виробництва, відіграють ключову роль в охороні довкілля. Низький рівень кваліфікації працівників негативно позначається на результатах діяльності підприємства. Тому інвестиції в підготовку кадрів для провідних закордонних компаній є головним чинником у конкурентній боротьбі.

Професійна підготовка особливо актуальна для металургійної галузі. Навіть незначні помилки в технічному обслуговуванні, діагностиці, ремонті і управлінні тут можуть призвести до масового браку продукції, аварій з тяжкими наслідками, виходу з ладу дорогого устаткування, перевитрати ресурсів, масштабного забруднення довкілля. Саме "людським чинником" обумовлена основна доля аварійних або потенційно небезпечних ситуацій на підприємствах.

Важливою частиною професійної підготовки повинне стати екологічне навчання, що враховує екологічну ситуацію в галузі і вплив підприємства на неї. Метою роботи є аналіз проблем і шляхів підвищення рівня екологічної підготовки персоналу, формування його екологічної культури.

Для реалізації екологічної політики підприємства, зведення до мінімуму його дії на довкілля необхідно залучення персоналу усіх рівнях - керівників, фахівців, робітників [1]. Для цього потрібна їх екологічна грамотність, відповідальність і особиста зацікавленість. На жаль, нині працівники, в основному, що не мають достатньої екологічної підготовки; у кращому разі, це лише загальні уявлення про техногенні і антропогенні чинники дії на довкілля.

Процес підготовки персоналу і підтримки його компетентності в області охорони довкілля повинен складатися з наступних етапів: ідентифікація потреби в компетентності; планування задоволення цієї потреби; навчання та підвищення кваліфікації персоналу; внутрішнє інформування персоналу; його атестація; аналіз стану екологічної підготовки персоналу і підтримки його компетентності. В результаті навчання працівник отримує прикладні екологічні знання і уміння; відомості про екологічну ситуацію в регіоні і в країні, про

законодавчу і нормативну базу природоохоронної діяльності, про вплив підприємства на стан довкілля, здоров'я населення; результати аналізу серйозних екологічних порушень, допущених персоналом даного та інших підприємств; про природоохоронні плани підприємства, хід їх реалізації.

Це дозволить працівникові чітко представляти наслідки своїх реальних і потенційних дій на екологічні характеристики підприємства, свої обов'язки і повноваження в реалізації його екологічних програм, відповідальність за недотримання екологічних вимог; бути готовим до відвертання аварійних ситуацій і вжиття заходів по їх ліквідації; усвідомити вигоди від раціонального природокористування - зниження витрат в результаті економії природних ресурсів, переробки відходів, зниження платежів за штрафи; поліпшення іміджу підприємства і т.д. [2].

Екологічна освіта повинна стати частиною професійного розвитку, підготовки до виконання нових виробничих функцій, зайняття нових посад, рішення нових завдань. Формування екологічної культури працівників сприятиме зміцненню їх технологічної дисципліни за рахунок усвідомлення необхідності рішення екологічних проблем, пов'язаних з роботою підприємства. Доцільно створення і підтримка ініціативних творчих груп для підвищення ефективності заходів з охорони довкілля на робочих місцях; впровадження інноваційних екологічно безпечних технологій, вдосконалення діючих технологічних процесів і устаткування; поліпшення санітарно-гігієнічних умов і підвищення рівня безпеки праці; переробки відходів виробництва; відвертання забруднення повітряного і водного басейну, ґрунту; економії матеріалів, енергії і води.

В цілому екологічне навчання персоналу сприятиме підвищенню загального рівня культури виробництва, недопущенню або зменшенню збитків від виробничої діяльності довкіллю, здоров'ю і безпеці працівників.

Список літератури

1. *Родіонова О.Ю.* Екологічні складові культури підприємства / О.Ю. Родіонова // *Культура народів Причорномор'я*. — 2011. — № 197, Т. 2. — С. 57-59.
2. *Гончаров В.М.* Економічна оцінка екологічних ризиків підприємства [монографія] / В.М. Гончаров, Г.М. Коваленко, О.В. Родіонов, Є.В. Гончаров. — Луганськ: "Янтар", 2010. — 224 с.

Т. В. Кожанов, М. В. Ягольник

Национальная Metallургическая Академия Украины, г. Днепрпетровск

ПРОИЗВОДСТВО АГЛОМЕРАТА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

При переработке железорудного сырья образуются железосодержащие отходы в виде пылей и шламов газоочистных сооружений агломерационных фабрик, доменных и сталеплавильных производств, выход которых составляет около 1% от массы сырья и полуфабрикатов, или 7-8% конечного объема производства металлургических заводов. Содержание железа в твердых отходах агломерационного, доменного и сталеплавильного производств составляет 33-70%, а из 1 млн. т. вторичных железосодержащих отходов, может быть получено 450 тыс. т. металла. Однако в них также отмечается большое содержание оксидов цинка (1-20%), свинца и щелочных металлов [1].

В данной работе исследуется возможность получения агломерата из железосодержащих отходов металлургического производства (колошниковой пыли и смеси доменных и конвертерных шламов), и сравнение показателей окомкования, спекания и качества готового агломерата с аналогичными показателями при производстве агломерата на основе традиционных железорудных материалов (железорудного концентрата и железной руды). Главная цель этих исследований - вывод отходов металлургического производства из основного аглопроцесса, поскольку они снижают его производительность, и доказательство возможности использования этих материалов в качестве железорудной основы для отдельного аглопроцесса, характеризующегося немного сниженными технико-экономическими показателями.

Как показали испытания, качество полученного из отходов агломерата (выход годного, индексы на удар и истирание), почти не уступает качеству агломерата, полученного на основе традиционных шихтовых материалов (железная руда, железорудный концентрат). При этом отсутствует необходимость в дополнительном использовании флюсующих добавок из-за высокой исходной основности шихтовых материалов (отходов) – основность аглошихты в этом случае 1,36. Для сравнения, основность обычного

агломерата с добавлением известняка и извести, составляла 1,26. Однако процесс производства агломерата на основе отходов металлургического производства значительно уступает по производительности традиционному агломерационному процессу (особенно это заметно по продолжительности спекания). Обусловлено это большим содержанием мелкой фракции в шихте на основе отходов металлургического производства, что значительно ухудшает газопроницаемость слоя шихты, в результате чего затормаживается процесс спекания.

Исследования показали, что существует возможность получения агломерата на основе отходов металлургического производства, но при этом производительность аглоустановки снижается. Однако если провести качественное окомкование таких шихтовых материалов (с отсевом фракции 0-3 мм), газопроницаемость столба шихты, и как следствие, производительность процесса, практически не будет уступать традиционному аглопроцессу.

Единственный существенный недостаток агломерата, полученного из отходов металлургического производства - значительно меньшее содержание Fe по сравнению с обычным агломератом (~ 43% и ~ 58% соответственно), в результате чего увеличивается выход шлака, а значит, повышается расход кокса при доменной плавке [2].

Список литературы

1. *Жунев А.Г.* О контроле за содержанием щелочных металлов в доменных цехах и на фабриках окускования / А.Г. Жунев, Ю.А. Сабинин // Уралмеханобр. - 1984. - С. 49-53.
2. *Кожанов Т.В.* Исследование агломерационного процесса на основе отходов металлургического производства / Т.В. Кожанов, М.В. Ягольник // Production and management in industry / Production of Iron and Steel, Zakopane, 2016.

ХАРАКТЕРНІ ПОКАЗНИКИ ЧАСТКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Показники техногенного впливу на навколишнє середовище з метою часткового оцінювання його впливу рекомендовано характеризувати такими даними:

- викидами сумарних або основних забруднюючих речовин;
- об'ємом скиданих забруднених вод і скиданням основних забруднюючих речовин;
- перевищення концентрації (однієї з найнебезпечної) шкідливої речовини відповідно до разової гранично допустимої в один і більше разів;
- кількісно використаних, знешкоджених і нагромаджених відходів (за класами їх небезпеки);

Показники техногенного навантаження на навколишнє середовище в структурі основних галузей промисловості.

У впливі промисловості на навколишнє середовище доцільно навести:

- сектор галузі (чорна або кольорова металургія, вугільна, нафтовидобувна, нафтопереробна, хімічна, машинобудівна, металообробна промисловість, тощо.);
- викиди сумарних або основних забруднюючих речовин;
- перевищення концентрації (однієї з найнебезпечної) шкідливої речовини відповідно до разової гранично допустимої в один і більше разів;
- об'єм основних забруднюючих речовин;
- кількість утворених, знешкоджених відходів.

Наприклад, щодо оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище дії впливу викидів ливарного цеху відповідно до рекомендованої методики. Чорна металургія. Ливарний цех (масового виробництва відливок). Західна околиця міста Дніпропетровськ. Викиди забруднюючих речовин: пил, CO, NO₂, SO₂ фенол, формальдегід. Перевищення разової гранично допустимої концентрації по пилу на границі санітарно-захисної зони до 2 раз, а по оксиду вуглицю – до 1,5.

Вплив сільського господарства на навколишнє середовище може бути

виявлено:

- у забрудненні атмосферного повітря викидами з птахівницьких і тваринних ферм;
- у забрудненні ґрунтів (привнесені до нього гною, що не пройшов процедуру дегельмінтації), в порушенні умов зберігання заборонених до застосування пестицидів.

Вплив житлово-комунального господарства на навколишнє середовище може бути при:

- забрудненні атмосферного повітря викидами котелень;
- забруднення водоймищ скиданням неочищених господарсько-побутових стічних вод;
- земель відведених до звалища побутових відходів (які можуть бути джерелами забруднення ґрунтів, вод і повітря).

В оцінках впливу на навколишнє середовище видами транспорту важливо визначити:

- викиди в атмосферне повітря;
- скиди у воду;
- утворення відходів.

За автомобільним транспортом доцільно визначити внесок у забруднення атмосферного повітря:

- об'єм викидів вихлопних газів;
- викиди забруднювачів (CO, SO₂, Pb).

Доцільно розглядати техногенні аварії або катастрофи з точки зору рекомендованого часткового оцінювання їх впливу на навколишнє середовище.

В промисловості такі події супроводжуються аварійними викидами забруднюючих речовин, скиданням рідких і твердих шкідливих речовин у водоймища, проливанням їх на ґрунт.

В сільському господарстві аварії супроводжуються проривами гнійосховищ тваринницьких комплексів, що викликає забруднення вод і ґрунтів.

Аварії в комунальному господарстві пов'язані з виходом зладу водоочисних споруд (скидання неочищених вод).

Аварії або катастрофи на транспорті супроводжуються надходженням у навколишнє середовище (скидання) продуктів нафтохімії або інших небезпечних речовин.

Збройні сили і ведення бойових операцій. Вплив на навколишнє середовище

доцільно розглядати подібно впливу промисловості, комунального господарства, транспорту, однак особливої уваги заслуговують аспекти, пов'язані з подіями військової діяльності (ведення бойових дій).

Із масової небезпеки проведення бойових операцій виділемо одне, можливо незначне, але що супроводжує ерозію ґрунту – це вибухи снарядів та мін. Останнє спричиняє значний вплив на економіку.

Список литературы

1. *Лазаренко А.М., Хорева С.А.* Оценка выбросов вредных веществ в окружающую среду от источников литейных цехов//Литье и металлургия.- 2012.-№3.-С.74-78.

УДК 669.162:662.749.2

М. С. Кузнецов, Г. Ю. Крячко

Днепродзержинский государственный технический университет,
г. Днепродзержинск

К ВОПРОСУ О ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И ГОРЯЧЕЙ ПРОЧНОСТИ КОКСА ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Безальтернативным заменителем кокса в Украине на обозримую перспективу будет пылеугольное топливо (ПУТ), вдуваемое в горн доменных печей. Наряду с положительным эффектом (замена дефицитного кокса) ПУТ оказывает на течение ряда процессов доменной плавки отрицательное воздействие, вызванное, прежде всего ухудшением условий работы кокса – каркасообразующего материала в зоне высоких температур.

Поэтому внимание технологов, как доменщиков, так и коксохимиков направленно на поиск надежных критериев качества кокса, позволяющих прогнозировать его влияние на ход доменной плавки. К таким критериям, получившим международное признание, относятся оценка реакционной способности кокса по потере его массы, прореагировавшей с углекислым газом (CRI) и оценка горячей прочности кокса по массе оставшегося в барабане остатка после термохимической (до барабана) и механической обработки (CSR).

Показатель CRI рассчитывают по формуле:

$$\text{CRI} = 100 \cdot ((m_0 - m_1) / m_0), \% \quad (1)$$

где m_0 и m_1 – массы пробы соответственно до и после реакции, г

Горячую прочность кокса CSR определяют из выражения:

$$\text{CSR} = 100 \cdot m_2 / m_1, \% \quad (2)$$

где m_2 – масса фракции >10 мм после обработки в барабане.

Существование балансовой и расчетной (m_1 – масса прочности после реакции входит в оба выражения 1 и 2) зависимости между CRI и CSR вызывает соблазн определять один (CRI) из двух показателей качества кокса, что должно способствовать снижению затрат на выполнение полного комплекса анализов [1].

Задачей нашего исследования явилась оценка целесообразности указанного выше предложения. С этой целью произвели расчеты изменения величин CSR по 23 статистическим моделям типа $\text{CSR} = a - b \cdot \text{CRI}$, представленными авторами статьи, упомянутой выше. Диапазон изменения CRI принят от минимально возможного для доменного кокса до значения 45%, малоприемлемого для нормального ведения процесса.

Результаты расчетов показаны на рисунке. В связи с большим количеством пересекающихся линий графическая интерпретация семейства линий представлена светлым полем на затемненном фоне графика. Нетрудно видеть, что минимальный разброс значений CSR (7,6%) наблюдается при величине CRI 30%. С уменьшением CRI до 15% разброс CSR растет до 17,3%, а с увеличением индекса реакционной способности до 45% размах разброса достигает 20,5%.

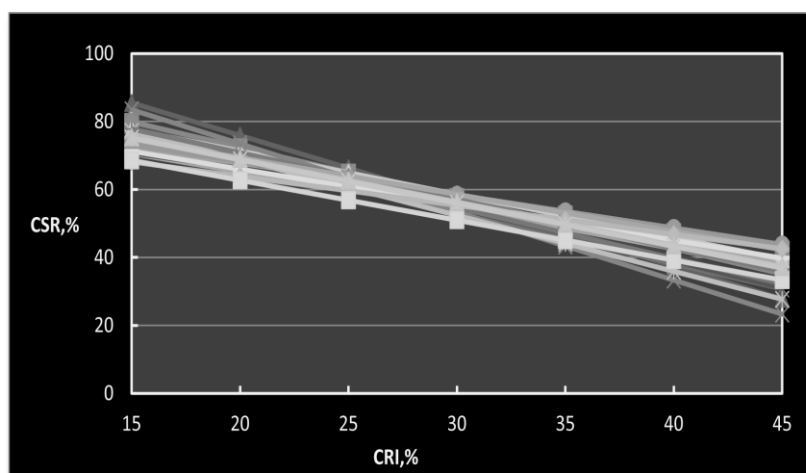


Рисунок. Связь между показателями реакционной способности кокса (CRI) и горячей прочности (CSR) по данным 23 моделей СНГ и дальнего зарубежья

Поскольку информация, приведенная на графике, отражает многообразие шихтовых условий и технологии получения кокса, нами исследована взаимосвязь индексов CRI и CSR для конкретных условий производства промышленного кокса. Было обнаружено, что при достижении определенных значений CSR индекс реакционной способности практически не меняется. Объяснением этому явлению служит влияние неучтенной балансовой составляющей пробы, а именно, массы подрешетного продукта m_3 :

$$M_0 = M_{CO} + M_2 + M_3, \text{Г} \quad (3)$$

где m_{CO} – потеря массы пробы в результате газификации.

Таким образом показано, что «экономичный» индекс реакционной способности кокса CRI не может заменить индекс горячей его прочности CSR, имеющий важное значение для оценки сырьевых условий доменной плавки, особенно при вдувании ПУТ в больших объемах.

Список литературы

1. *Золотухин Ю.А.* Взаимосвязь термомеханической прочности (CSR) и реакционной способности (CRI) кокса и оценка их промышленных показателей по данным ящичных коксований / Ю.А. Золотухин, Н.С. Андрейчиков, Д.А. Кошкарров // Бюллетень. Черная металлургия. – 2006. – №3. – С. 12-16.

УДК 621.771.014.2.001

В. М. Кузьмичёв, О. Н. Перков

Институт чёрной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЁС И КОЛЁСНЫХ ЦЕНТРОВ

В ряду традиционных технологий обработки металлов давлением, применяемых для изготовления осесимметричных изделий, представляют определенный интерес методы прокатки в штампах или торцовой раскатки. Одним из видов такой технологии является метод сферодвижной штамповки.

Сущность метода состоит в том, что один из двух штампов получает круговые сферические колебания. Такая схема обеспечивает обкатку заготовки и

малую площадь контакта. Деформирующее усилие передаётся на весьма незначительную часть поверхности заготовки, что позволяет реализовать деформирование с относительно низкими рабочими усилиями.

Технология позволяет получать готовые изделия очень высокого качества, часто без необходимости в дальнейшей механической обработке, причём изготовленные детали, обладают упрочненным наружным слоем, что весьма важно для повышения ресурса работы изделия.

Кроме того, отмечается снижение энергетических затрат по сравнению с большинством известных технологий.

Однако, сложная кинематика привода верхнего штампа сферодвижного прессователя, ограничивает использование данной технологии только для изготовления сравнительно небольших деталей. Железнодорожные колеса и центры являются массивными изделиями, поэтому случаев использования этой технологии для производства подобных изделий нами не обнаружено.

Ещё одна технологии изготовления осесимметричных изделий, использующая схему прокатки в штампах представлена на рис.

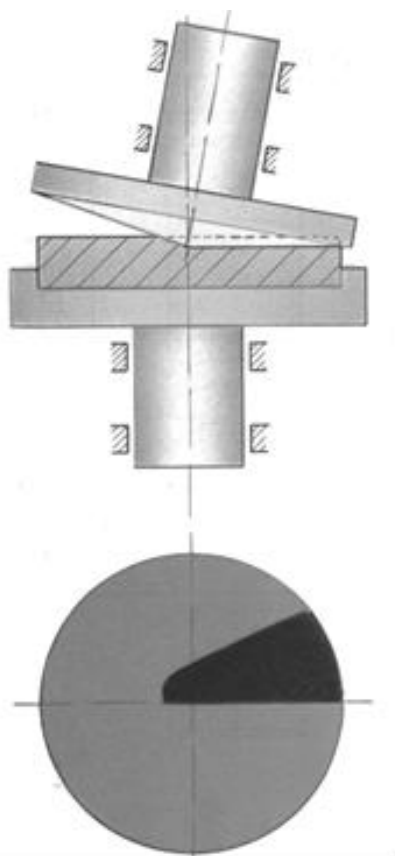


Схема реализации процессов AGW и SIRD

Заготовка помещается в нижний штамп деформирующего агрегата, а её деформирование осуществляется с помощью верхнего вращающегося штампа.

Главное отличие такого процесса от сферодвижной штамповки состоит в том, что оба штампа вращаются вокруг неподвижных осей, причём ось вращения верхнего штампа наклонена по отношению к оси нижнего. Деформирование складывается из последовательных этапов движения штампов по определенной траектории. Варьирование траекторией перемещения штампов и профилем импульса нагружения позволяет регулировать интенсивность деформации и величину её очага (затенённая область заготовки на рис.), что позволяет реализовывать оптимальные условия течения металла.

При такой кинематической схеме инструмент имеет малую площадь контакта с заготовкой, деформирующее усилие передаётся на незначительную зону поверхности заготовки. Очаг деформации имеет форму полу-параболоида, размеры которого зависят от вертикального усилия со стороны верхнего штампа.

Такая технология, сохраняя преимущества прокатки в штампах, позволяет упростить схему агрегата, реализовать большие деформирующие усилия и обрабатывать заготовки существенно больших размеров.

Рассмотренные схемы требуют использовать заготовку с жесткими допусками по весу и размерам. Превышение объёма приведет к выдавливанию лишнего металла в облой. При использовании заготовок меньшей массы, произойдёт неполное заполнение металлом калибра.

При использовании в технологической линии цилиндрической непрерывнолитой заготовки и дисковых пил, проблема разновеса решается и технология становится весьма перспективной.

В настоящее время отдельными производителями осуществляются активные попытки использования указанных технологий для изготовления железнодорожных колес и колесных центров. Технология практически реализована в агрегатах AGW (фирма WAGNER, Германия) и SIRD (корпорация SUMITOMO, Япония).

УДК 621.9.047(07)

В. М. Ласкин, Ю. Р. Есаулова, А. В. Мельничук

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБОПРОКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА

В процессе прокатки труб происходит износ трущихся поверхностей калибров и оправок. Установлено, что из-за износа ручья выходит из строя 75-80% калибров при прокатке труб из углеродистых и низколегированных сталей и 60-65% калибров при прокатке труб из высоколегированных сталей. Эти калибры подвергаются перешлифовке на больший диаметр прокатываемой трубы.

Недостатком известного способа восстановления изношенных калибров является то, что калибры могут быть использованы только для прокатки труб большего диаметра, а для прокатки труб необходимого диаметра приходится использовать новые калибры, что увеличивает затраты на производство труб.

Оправки также подвергаются перешлифовке, после чего могут быть использованы для прокатки труб меньшего диаметра отверстия. Однако такой возможный ремонт оправок может быть исчерпан.

Одним из наиболее простых и доступных методов, который можно использовать для восстановления изношенных калибров и оправок является электроэрозионный [1,2].

Для всех деталей, подвергаемых восстановлению электроэрозионным методом необходимо осуществлять предварительную обработку поверхностей от продуктов коррозии, окислов, грязи и т.п. Наиболее простым, экологически чистым способом для предварительной подготовки поверхности, не разрушающим обрабатываемую поверхность, является обработка эластичными металлическими проволочными кругами с диаметром проволоки 0,2-0,3 мм. Особенностью данного инструмента является его способность обрабатывать даже труднодоступные места.

После операции предварительной обработки выполняются несколько операций электроискрового легирования. При этом для обработки наружных цилиндрических поверхностей целесообразно применение роторных головок, которые позволяют значительно повысить производительность обработки, сплошность покрытия, механизировать процесс электроэрозионного

упрочнения. Конструкция роторной головки предусматривает установку в ней 10 подпружиненных электродов призматической формы. При обработке головке задаётся вращение в том же направлении, что и для заготовки, а также сообщается продольная подача. При этом скорость вращения заготовки должна составлять 1,5-2,0 м/мин, а продольная подача роторной головки 0,2-0,4 мм на оборот заготовки. Таким образом достигается сплошность покрытия около 95%. Обработка фасонных поверхностей калибров осуществляется вручную с помощью вибратора.

При восстановлении деталей из легированных сталей целесообразно вначале легировать никелем за 1-2 прохода, а затем твердым сплавом ВК8 также за 1-2 прохода. Как показали экспериментальные исследования, применение большего количества проходов увеличения глубины легируемого слоя не дает, а наоборот приводит к его разрушению. В результате проведенных исследований было установлено, что применение эластичных полимер-абразивных кругов позволяет достаточно эффективно удалять окисные пленки, шлаки и нагар, не нанося значительных повреждений легируемого слоя. После легирования твердым сплавом более эффективно применение эластичных металлических проволочных кругов с диаметром проволоки 0,15-0,2 мм. После окончания операции электроискрового легирования осуществляется чистовая обработка восстановленной поверхности с целью снижения шероховатости. В качестве метода для чистовой обработки применялось алмазное выглаживание и притирка. Как показали исследования, после алмазного выглаживания легированных поверхностей достигается шероховатость до Ra 0,63 мкм. Для финишной обработки фасонных поверхностей калибров применялись эластичные полимерабразивные круги[3]. При необходимости дальнейшего снижения шероховатости поверхности возможно применение полирования алмазными пастами с зернистостью 40 и 25 мкм.

Список литературы

1. А.Г. Бойцов, В.А. Смоленцев, Л.А. Хворостухин Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. М.: Машиностроение.- 1991.- 144с.
2. Проволоцкий А.Е. Повышение качества поверхностей, обработанных электроискровым методом // Электронная обработка материалов. 1988. №2 с. 83-84.

З. Проволоцкий А.Е., Неэруб С.Л., Ласкин В.М. Использование возможностей эластичных кругов при обработке поверхностей после электроискрового упрочнения

УДК 669

С. Л. Макуров, Б. В. Ефременко

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

НОВЫЙ МЕТОД ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Методики внешних воздействий на кристаллизующийся металл в процессе непрерывной разливки применяются повсеместно на отечественных и зарубежных предприятиях. Самым распространенным методом является метод качания кристаллизатора МНЛЗ.

Новый метод внешнего воздействия предполагает использование ударно-импульсных воздействий для уплотнения корковой зоны формирующейся непрерывной заготовки. Данное воздействие формируется с помощью легкоиспаряющихся добавок, вводимых в расплав в процессе разливки. Весьма быстрое и интенсивное испарение вводимых добавок образует фронт избыточного давления, который распространяясь во всем объеме слитка воздействует на растущие ветви дендритов. В результате интенсивного воздействия происходит обламывание дендритов. После обламывания дендритов конвективные потоки уводят осколки дендритов в жидкую сердцевину заготовки, а оставшиеся дендриты деформируются, тем самым уплотняя корковую зону заготовки. Выведенные в жидкую сердцевину осколки дендритов, впоследствии, служат дополнительными центрами кристаллизации.

Данное воздействие позволяет ограничить рост дендритного каркаса, что в свою очередь положительно сказывается на структуре готового полупродукта в виде непрерывно литой заготовки. Дополнительное перемешивание жидкой сердцевины улучшает усреднение химического состава металла заготовки.

Комплекс эффектов, которые оказывает ударно-импульсное воздействие, позволяет увеличить прочность корковой зоны, что в свою очередь снижает

вероятность образования дефектов и возникновения прорыва металла, который обычно возникает за счет малой прочности корочки заготовки. Дополнительное обламывание ветвей дендритов благоприятно сказывается на формировании структуры заготовки, образуя новые центры кристаллизации непосредственно в среде расплава.

УДК 669.18

В. С. Мамешин, С. В. Журавлева

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ОБОБЩЕННАЯ ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЗВУКОВЫХ СТРУЙ В ЖИДКОСТЬ

Целью работы была оценка глубины проникновения газовой струи в жидкость для различных способов подвода дутья и создание статистических моделей, базирующихся на полной силовой характеристике струи. В черной и цветной металлургии ряд технологических процессов базируется на продувке жидкости неизотермическими газовыми струями. Подача газа может осуществляться 3 способами: сверху, снизу и сбоку, при этом преследуются две противоположные цели: с одной стороны глубина проникновения должна быть, как можно больше, а с другой - ограничивается опасностью воздействия на огнеупорную футеровку либо возможностью пробоя ванны.

При проведении физического моделирования процесса продувки, большинство исследователей [1-5] использовали при описании результатов число Архимеда, которого недостаточно для полной силовой характеристики струи. Критерием позволяющим оперировать полной силовой характеристикой струи является безразмерный импульс струи [1].

Для проведения сравнительного анализа были заданы одинаковые начальные условия продувки. Принимали, что продувка ведется через одно цилиндрическое сопло ($d_c = 3$ мм), давление дутья изменялось от 1 до 4 ати, продуваемая жидкость — вода, вдуваемый газ — кислород.

Уравнения регрессии, описывающие усредненные длины газовой струи в жидкости, в зависимости от способа подвода дутья и комплекса $(i/\rho_{ж}g)^{1/3}$:

$$\text{- для продувки сверху: } L_{\text{св}} = 2,7488 \cdot (i/\rho_{\text{жг}})^{1/3} + 0,0427; R^2 = 0,9994, \quad (1)$$

$$\text{- для продувки сбоку: } L_{\text{сб}} = 3,5821 \cdot (i/\rho_{\text{жг}})^{1/3} + 0,0158; R^2 = 0,9979, \quad (2)$$

$$\text{- для продувки снизу: } L_{\text{сн}} = 4,3054 \cdot (i/\rho_{\text{жг}})^{1/3} + 0,0241; R^2 = 0,9999. \quad (3)$$

Изменение длины газовой струи в жидкости, для различных способов подвода дутья, происходит практически симбатно. Наложение значений длин струи для вертикальной и боковой продувки, при малых расходах газа, может быть связано, с тем что, авторы различных исследований использовали различные методики для определения длины струи и при малых размерах струи это приводит к разночтению получаемых результатов. В целом же, учитывая симбатный характер изменения кривых и, сравнивая значения множителей перед комплексом $(i/\rho_{\text{жг}})^{1/3}$ в уравнениях (1 - 3), можно сказать, что при прочих равных условиях, решающее влияние на длину газовой струи в жидкости оказывают, архимедовы силы. Соответственно, при продувке снизу, они складываются с динамическим напором, при продувке сверху – вычитаются, а при боковом подводе дутья – действуют ортогонально. При этом, влияние силы Архимеда на длину струи в жидкости, составляет 17-23%.

Учитывая вышесказанное обобщенное статистическое уравнение описывающее глубину проникновения газовой струи в жидкость с учетом способа подачи дутья будет иметь вид:

$$L = (3,58 - 0,8 \cdot \cos\alpha) \cdot (i/\rho_{\text{жг}})^{1/3}; \quad (4)$$

где α — угол наклона сопла к вертикали, град (при продувке сверху $\alpha = 0^\circ$, продувке снизу $\alpha = 180^\circ$).

Выводы. Проведенный анализ влияния способа подачи дутья на глубину проникновения газовой струи в жидкость с использованием полной силовой характеристики струи показал, что влияние силы Архимеда составляет 17-23%. Было предложено обобщенное уравнение описывающее глубину проникновения газовой струи в жидкость с учетом способа подачи дутья.

Список литературы

1. Марков Б.Л. Методы продувки мартеновской ванны - М.: Metallurgy, 1975. – 280 с.
2. Казанцев И.Г. Исследование динамики газообразной струи втекающей в жидкость // Термическая и пластическая обработка металлов: Сб. науч. тр.

Ждановского металлургического института. В.2. – М.: Металлургиздат, 1952. - С.56-68.

3. Фролов В.А. Глубина проникновения газовой струи в жидкость при горизонтальном вдувании газа // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. -1967.- № 3. - С. 37-40.

4. Особенности взаимодействия донных кислородно-топливных струй с конвертерной ванной/ Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, Д.А. Лаврик, Е.Л. Мастеровенко // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. - 2002.- № 10. - С. 14-17.

5. Паниотов Ю.С., Иващенко В.П., Тараканов А.К., Мамешин В.С., и др. Гидродинамика ванны агрегата Ромелт. // Труды XII международной научн. техн. конференции «Теория и практика сталеплавильных процессов». Днепропетровск, 2006.– С.272-275.

УДК 504.064.3:669

О. В. Матухно¹, О. В. Саввін¹, В. В. Тимощенко²

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ¹

Дніпропетровський професійний залізничний ліцей, Дніпропетровськ²

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ РАДІО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОДУКТІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Екологічна безпека сировини, матеріалів та продуктів металургійного виробництва складається з ряду показників, одним з найвагоміших, наряду з хімічним складом, є їх радіаційний фон (або рівень радіаційного забруднення).

Опубліковані останніми роками роботи радіологічної спрямованості торкаються питань радіологічної обстановки на підприємствах чорної металургії, а також контролю рециклінгу радіоактивно забрудненого металобрухту [1-3]. Важливим є також питання визначення радіоактивності початкових матеріалів для плавки, відвальних шлаків, та оцінка останніх як можливого техногенно-посиленого джерела випромінювання природного походження.

Задачею спеціалістів (як технологів-металургів, так і підрозділів охорони навколишнього природного середовища та охорони праці) є зведення ризику радіаційного забруднення до мінімуму. Це можливо за рахунок впровадження сучасних технологій радіаційного моніторингу основних металургійних

виробництв. Відповідно до законодавства України (Закон України «Про металобрухт», «Вимоги державних санітарно-екологічних правил і норм по радіаційній безпеці при проведенні операцій з металобрухтом» (ДСЕПІН 6.6.1.-079/211.3.9 001-02), «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) та ін.), радіаційному контролю піддаються як вихідна сировина і матеріали (металобрухт, вапняк, чавун і ін.), так і вироблювана продукція (металопрокат, доменний шлак, залізовмісна і шламо-колошниковий пил).

Радіаційний контроль металопродукції включає [3]: вимірювання потужності дози іонізуючого випромінювання вхідного металобрухту і готової продукції за допомогою радіометрів-дозиметрів; визначення питомої активності природних радіонуклідів радію-226, торію-232, калію-40, а також ефективної сумарної питомої активності у металопродукції; вимір фонового випромінювання в контрольних крапках на території підприємства. Перераховані заходи спрямовані на забезпечення захисту здоров'я працівників від радіаційного впливу та виключення негативних наслідків для природного середовища.

Українські науковці [3] рекомендують для проведення радіаційного контролю на металургійних підприємствах застосовувати вітчизняні радіометри нейтронного та гама-випромінювань (наприклад, типу «Кордон»), для визначення питомої активності – радіометри питомої активності сталевих проб («РУГ- 2001»), які дають можливість виміряти усі перераховані раніше показники радіоконтролю. Завдяки цьому продукція буде відповідати усім нормам радіаційної безпеки, в свою чергу зниження рівня радіаційної обстановки на металургійних заводах дозволить поліпшити екологічну ситуацію довкола них.

Висновки:

1. В Україні і за кордоном радіаційний моніторинг металобрухту, сировини та готового продукту здійснюється на всіх металургійних підприємствах відповідно до норм законодавства.

2. На металургійних підприємствах України для проведення радіаційного контролю матеріалів, сировини та готової продукції краще за все застосовувати радіометри нейтронного та гама-випромінювань (наприклад, типу «Кордон»), а для визначення питомої активності – радіометри питомої активності проб («РУГ- 2001»).

3. Одне з основних завдань, які необхідно поставити при оцінюванні радіаційної обстановки сировини, матеріалів та продуктів металургійного виробництва, є створення стандартизованого комплексу радіоізотопних, радіографічних, електронно-мікроскопічних та інших методів, які з високою мірою

достовірності, чутливості й інформативності дозволять контролювати присутність високотоксичних радіонуклідів в природних і промислових сировині та матеріалах, встановлювати форми їх знаходження і міграційні характеристики.

Список літератури

1. *Машинистов В.Е., Галкин О.Ф., Динник Ю.А., Старжинская Т.В.* Влияние процесса плавки радиоактивно загрязненной шихты на радиоактивность конечной продукции // Теория и практика металлургии. - 2013.- №5-6.- С.153-157.
2. *Машинистов В.Е., Галкин О.Ф.* Технология утилизации радиоактивно загрязненного металла на металлургических предприятиях. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.metaljournal.com.ua/Utilization-technology-of-radioactively-contaminated-metals-from-smelters/>
3. *Быткин С.В., Литвин В.М., Радин Е.Г., Критская Т.В., Середа Б.П., Клименко С.Н.* Статистический анализ радиационного загрязнения металлопроката ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь». - Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.zgia.zp.ua/gazeta/METALURG_22_26.pdf

УДК 669.14018.8:546.17

**С. Г. Мельник¹, В. И. Бондарь¹, А. В. Наривский², В. И. Курпас²,
А. А. Сычевский²**

¹ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь, ²ФТИМС НАН Украины, г. Киев

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ АЗОТА НА КАЧЕСТВО КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Для целого ряда конвертерных сталей азот – нежелательный элемент, так как, наряду с углеродом, является основной причиной старения металла, которое, в свою очередь, с течением времени приводит к изменению физических и химических свойств стали. Обычно это связывают с увеличением предела прочности $\sigma_{\text{в}}$, предела текучести $\sigma_{\text{т}}$, твердости, уменьшением пластичности и ударной вязкости металла [1]. Азот в металл поступает на этапе его производства в сталеплавильном переделе из газовой фазы (атмосферы и кислородного дутья), шихтовых материалов плавки и ферросплавов. Поэтому исследование поведения азота и его влияния на свойства металлопродукции

желательно направить на изучение особенностей физико-химических процессов, сопровождающих выплавку стали, в том числе в сталеплавильных агрегатах.

Ранее, исходя из предположения о том, что в газовой фазе $P_{CO} + PN_2 = 1$, получили связь скорости удаления азота из металлического расплава $\frac{d[N]}{d\tau}$ и

скорости его обезуглероживания $\frac{d[C]}{d\tau}$:

$$\frac{d[N]}{d\tau} = \left(\frac{7}{12} \cdot [N]^2 / K_N^2 \right) \cdot \frac{d[C]}{d\tau}, \quad (1)$$

где K_N – константа равновесия реакции растворения азота в жидком железе.

Для расчета конечной концентрации азота в металлическом расплаве предложено уравнение следующего вида:

$$[N]_k = 12[N]_H \cdot K_N^2 / (12K_N^2 + 7[N]_H) \cdot ([C]_k - [C]_H), \quad (2)$$

в котором $[N]_H$ и $[N]_k$ – начальная и конечная концентрации азота в металлическом расплаве, $[C]_H$ и $[C]_k$ – начальная и конечная концентрации углерода в расплаве.

Термодинамическими и кинетическими расчетами на основе принятой физико-химической модели получены равновесные значения концентрации азота в металле в начале и конце продувки ванны кислородом. Установлено превышение фактического содержания азота в расплаве над равновесным.

Влияние процесса обезуглероживания на поведение азота в металле исследовали на промышленных сталях углеродистых и низколегированных марок. Установлено, что повышение концентрации углерода в металле после продувки от 0,03 до 0,08 % приводит к снижению концентрации азота в среднем на 0,003 %.

Полученные данные, в том числе результаты химических анализов, подтверждают наличие термодинамических и кинетических условий для удаления азота из металла при конвертировании его в большегрузных сталеплавильных агрегатах.

Список литературы

1. *Калинников Е.С.* Хладостойкая низколегированная сталь. М.: Металлургия, 1976. – 288 с.

**С. Г. Мельник¹, Л. Ю. Назюта¹, В. М. Бакланский¹, В. И. Курпас²,
Е. И. Быков¹, А. И. Богуцкий¹**

¹ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь, ²ФТИМС НАН Украины, г. Киев

ПРОИЗВОДСТВО ШТРИПСОВОЙ СТАЛИ КАТЕГОРИИ X80 – X120 ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Высокопрочные стали для производства труб большого диаметра (ТБД) составляют значительную часть современных сталей для сварных конструкций. Штрипсовая сталь для сварных ТБД в первом приближении должна соответствовать требованиям стандартов Американского института нефти (API) США и Германии StE. Требуемое качество стали для ТБД может быть обеспечено заданным химическим составом, снижением содержания в ней неметаллических включений (НВ), уменьшением концентраций вредных примесей в металле, получением заданных механических характеристик. Кроме этого вводятся дополнительные специальные виды контроля качества металла: коррозионные испытания, определение доли волокнистой составляющей (DWTT), определение критических параметров в сварном шве при формовании трубы и в зоне термического влияния (ЗТВ) сварного шва и другие. В связи с этим возникает необходимость в повышении чистоты стали, поэтому штрипсовые стали для ТБД магистральных газопроводов можно отнести к категории чистых высокопрочных низколегированных сталей [1,2].

Для производства ТБД категорий X80 – X120 с учетом требований стандарта API 5L предлагается снижение содержания серы до 0,001 % и фосфора до 0,015 %. В свою очередь, возрастание рабочего давления газа в газопроводе увеличивает вероятность возникновения и распространения вязких разрушений в металле, которые могут быть остановлены, если сталь будет иметь энергию удара по Шарпи больше установленного минимального уровня.

Достижение заданных свойств штрипсовой стали может быть обеспечено применением полиреагентной внепечной обработки жидкого металла. С целью получения минимальных концентраций серы и фосфора необходимо проводить технологические операции по их снижению, начиная с подготовки шихтовых материалов конвертерной плавки, в первую очередь передельного чугуна и металлического лома. Чугун должен пройти предварительную обработку

магнием Mg или другими рафинировочными материалами (например, карбидом кальция CaC_2 или щелочноземельными металлами). Сера при такой обработке переходит в шлак в результате процесса десульфурации, однако при дальнейшей транспортировке чугуновозных ковшей происходит ресульфурация. Для предотвращения ресульфурации необходимо скачивать шлак с поверхности чугуна в чугуновозных ковшах и наводить новый шлак, химический состав и физические свойства которого обеспечат защиту расплава от потерь тепла при последующей транспортировке. Порции металлического лома на плавку должны формироваться из низкосернистого лома известного химического состава.

Углеродистый полупродукт на выпуске из конвертера в сталеразливочный ковш необходимо обрабатывать жидким рафинировочным шлаком на основе CaO и CaF_2 в примерном соотношении компонентов 3:1 или жидким известково-глиноземистым синтетическим шлаком. Для повышения эффективности рафинирования стали во время выпуска низкоуглеродистого полупродукта из конвертера в сталеразливочный ковш следует производить отсечку конечного конвертерного шлака. При помощи такой технологии из стали можно удалить от 70 до 90% серы. Для придания НВ глобулярной формы надо осуществлять модифицирование стали SiCa (марок СК-20, СК-25 и СК-30) вдуванием с помощью пневмопитателей и/или введением трайб - аппаратом в виде проволоки с расходом SiCa до 2 кг на тонну стали. Данная технологическая операция дополнительно снижает содержание серы в стали примерно на 25%. Наряду с рафинированием стали следует проводить микролегирование (Ti, Nb, Mo, Ni, B...) и технологические операции по корректировке ее химического состава. При полиреагентном рафинировании стали желательно, а в ряде случаев необходимо, осуществлять ее вакуумирование, при котором наряду с дегазацией металла возможно удаление из него НВ.

Применение такой комплексной полиреагентной ковшевой обработки металла наряду с возможностями последующей термообработки заготовок позволит производить сталь категорий X80, X100 и X120, которая будет соответствовать повышенным требованиям эксплуатационных характеристик металла для ТБД.

Список литературы

1. *K. Hulka, F. Heisterkamp and B. Jones. HSLA Steels Metallurgy and Applications* ASM Internanional, 1986. – P. 475 – 484.
2. *K. Hulka, J.M. Gray, F. Heisterkamp. Niobium Technical Report NbTR 16/90, CBMM, Sao Paulo (Brazil), 1990.*

УДК 504.054:669

А. Г. Мешкова, М. В. Сухарева, Е. В. Матухно

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Литейное производство – один из основных источников загрязнения окружающей среды вредными выбросами.

Решение проблемы повышения экологической безопасности литейного производства базируется на анализе трёх факторов [1]: технологического (включает выбор оптимальной технологии отливок с точки зрения экологической безопасности);экономического (включает анализ стоимости различных сооружений для очистки выбросов, сбросов и утилизации твёрдых отходов относительно платы за загрязнение окружающей среды);экологического (включает анализ влияния отходов на окружающую среду и способы минимизации этого влияния различными методами).

Учитывая первый фактор, проанализированы существующие методы литья. Полностью удовлетворяет требованиям экологической безопасности метод литья по газифицируемым моделям. Переход на ЛГМ-процесс позволяет снизить количество вредных газообразных выбросов, жидких и твёрдых отходов на 97%.

Учитывая третий фактор, выполнен анализ источников образования и состава выбросов в атмосферу, сточных вод и твёрдых отходов.

При традиционном литье на каждую тонну отливок из сплавов черных металлов выделяется около 50 кг пыли, 250 кг окиси углерода, 1,5-2 кг окиси серы. Источниками пылевыведения являются: процессы приготовления и регенерации формовочных и стержневых смесей, выпуск жидкого металла из

печи, процессы внепечной обработки, заливки формы, выбивки отливок, обрубки и очистки литья, транспортировки сыпучих материалов. В литейном производстве также имеются источники выбросов углеводородов, оксидов серы, углерода, азота – плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушилка для форм и стержней [2].

В литейных цехах техническую воду расходуют на охлаждение оборудования, гидрорегенерацию песка, очистку вентиляционного воздуха, ваграночных газов, грануляцию шлаков, для транспортировки отработанных смесей, гидравлической и электрогидравлической очистки отливок и т.п.

Твёрдые отходы литейного производства содержат до 90% отработанных формовочных и стержневых смесей, включая брак при отливке форм и стержней; также они содержат просыпи и шлаки из отстойников пылеочистой аппаратуры и установок регенерации смесей; литейные шлаки; абразивную пыль; огнеупорные материалы и керамику. Отработанные формовочные и стержневые смеси относятся к 4-му классу опасности и составляют 90% всего количества твёрдых отходов. Их регенерация – весьма дорогая процедура, поэтому перед сталелитейными предприятиями возникает задача перейти на менее вредное для окружающей среды производство. По своему составу твёрдые отходы подразделяются на три категории, в зависимости от которой выбирается схема их переработки.

Практически инертные твёрдые отходы – смеси, содержащие в качестве связующего элемента глину, бентонит, цемент, проходят последовательно стадии переработки – регенерацию, вибрацию, ротационный барабан, дробеструйную обработку, термическую или механическую обработку. Шлаки могут использоваться для производства блоков или материалов дорожного основания. Шлам, образовавшийся после очистки сточных вод, делится на содержащий тяжёлые металлы, идущий на грануляцию, сушку, прессование и применяющийся в качестве раскислительной лигатуры, и шлам, содержащий нефтесмазочные материалы.

Для каждого литейного предприятия, с точки зрения экономической целесообразности и экологической безопасности, требуется регенерация отработанных смесей в местах их образования, создание бессточных систем водоснабжения с использованием эффективных сооружений для очистки воды, применение наиболее современных систем очистки выбросов и переработки твёрдых отходов.

Список литературы:

1. *А.Н. Болдин, А.Н. Литейное производство с точки зрения экологии // Литейное производство. - 2005. - №3. - С.33-34.*
2. *Инженерная экология литейного производства : учеб. пособие /А. Н. Болдин [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Болдин. – М. : Машиностроение, 2010. – 352 с.*

УДК 621.74.045

А. М. Михайловская, О. В. Гнатенко, В. В. Наумик

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ЖС32-ВИ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Высокая стоимость жаропрочных никелевых сплавов, а также их недостаточно удовлетворительные механические свойства вынуждают к поиску решений этих проблем. Рений является основным дорогостоящим элементом, который влияет на способность сплавов противостоять высоким температурам без особых видимых дефектов и разрушений. Разработка надежного, но более дешевого сплава на основе уже известного ЖС32-ВИ даст необходимый экономический эффект.

В вакуумных индукционных электропечах ОКБ-860 и УППФ-3М проводили термовременную обработку расплавов, а на установке типа УВНК-8П были получены отливки и образцы из жаропрочных никелевых сплавов с направленной и монокристаллической макроструктурой.

Опытные образцы получали в два этапа. На первом этапе в вакуумной индукционной печи УППФ-3М в среде аргона под давлением 1,4...5,3 МПа в тиглях с основной футеровкой из опытных сплавов изготавливали слитки весом 10 кг. Заливка металла проводилась при температуре металла 1540 °С в керамические формы, предварительно нагретые до температуры 900 °С. На втором этапе полученные слитки переплавляли и заливали в специальные керамические формы с предварительно установленными в них стартовыми кристаллами ("затравками") из бинарного сплава системы (Ni-W) для получения

монокристаллических образцов из опытных сплавов.

Изучили влияние увеличения в составе жаропрочного никелевого сплава ЖС32-ВИ содержания тантала от 4,0 % до 9,0 % при одновременном снижении содержания рения от 4,0 % до 1,5 % на его свойства. Результаты анализа химического состава приведены в таблице 1.

Результаты механические испытания на кратковременную прочность образцов с монокристаллической [001] макроструктурой опытных составов № 1 – № 5 и их математической обработки показали, что в опытном составе № 5, содержащем 9 % тантала и 1,5 % рения, прочностные характеристики заметно снижаются, по сравнению со сплавом ЖС32-ВИ и опытными сплавами № 1 – № 4. Сплав № 4, содержащий 8 % тантала и 2 % рения (см. табл. 1) является оптимальным с точки зрения прочностных характеристик и себестоимости.

Таблица 1 – Химический состав сплавов опытных плавок.

Сплав №	Содержание легирующих элементов, % (по массе)										
	C	Cr	Co	W	Mo	Al	Nb	Ta	Re	Zr	B
ЖС32- ВИ	0,15	4,9	9,3	8,2	1,1	5,8	1,6	4,0	4,0	0,05	0,015
1	0,14	5,1	9,1	8,0	1,0	5,9	1,4	5,0	3,5	0,05	0,015
2	0,15	4,9	9,0	8,2	0,9	6,1	1,5	6,0	3,0	0,05	0,015
3	0,14	4,8	8,9	8,1	1,0	6,0	1,6	7,0	2,5	0,05	0,015
4	0,15	5,0	9,0	8,0	0,9	6,1	1,5	8,0	2,0	0,05	0,015
5	0,16	5,2	9,1	7,9	1,1	6,2	1,6	9,0	1,5	0,05	0,015

Список литературы

1. *Гнатенко О.В.* Разработка оптимального состава экономнолегированного жаропрочного никелевого сплава с повышенной фазовой стабильностью / *О.В. Гнатенко, С.В. Гайдук, В.В. Наумик* // Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах: збірник тез XIII Міжнародної науково-технічної конференції, Запоріжжя, 9 – 12 жовтня 2012 р. / відп. ред. В.В. Луцьов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – С. 106 – 107.

Л. С. Молчанов¹, Д. М. Гаркаленко², Е. В. Синегин¹

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

²ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ СОЮЗ ДОНБАССА, г. Днепродзержинск

ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕСИЛИКОНИЗАЦИИ ЧУГУНА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

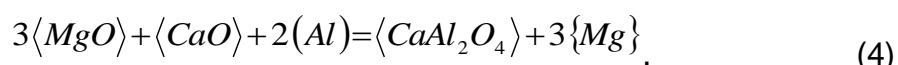
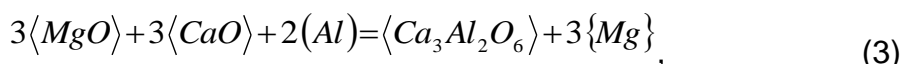
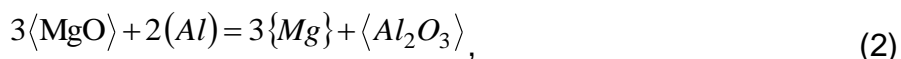
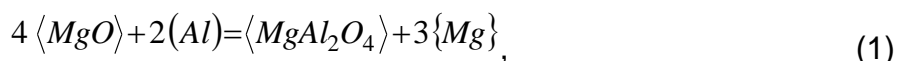
На современном этапе отечественные металлургические предприятия испытывают острый дефицит в качественных шихтовых материалах, что связано с их высокой стоимостью и значительным дефицитом. Кроме того, особо усложняет данную ситуацию конъюнктура мирового рынка шихтовых материалов. Таким образом, на Украинских металлургических предприятиях вынуждены применять шихтовые материалы различного химического и фракционного состава, что приводит к резкому снижению технико-экономических показателей производственных процессов.

Наиболее значимо колебание качества шихтовых материалов сказываются при производстве чугуна приводя к колебанию его химического состава и температуры. Такое развитие событий приводит к значительному усложнению процесса выплавки стали за счет колебания содержания кремния в чугуне. Кроме того содержание кремния выше требуемой концентрации в чугуне вызывает значительное снижение выхода годного (в следствии увеличения количества шлака), увеличения длительности плавки (из-за необходимости промежуточного шлака), перерасход извести (необходимо поддерживать основность шлака на заданном уровне), а также увеличение количества додувок по сере и фосфору (в следствии нарушения шлакового режима плавки).

Наиболее эффективным приемом стабилизации химического состава чугуна перед производством является внепечная десиликонизация. Она осуществляется за счет введения в объем чугуна материалов содержащих кислород (твердые окислители – рудные материалы и окислительные газы). При этом проходящие окислительные процессы приводят к снижению содержания кремния в расплаве, а ковшевой шлак с высоким содержанием SiO_2 извлекается из ковша на стадии скачивания непосредственно перед заливкой в конвертер.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ЕКЗОТЕРМІЧНОЇ СУМІШІ ДЛЯ АЛЮМОТЕРМІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ МАГНІЮ

Магній відноситься до лужно-земельних металів, які відрізняються високою спорідненістю до кисню, тому процеси його відновлення носять значний ендотермічний характер. Особливе значення для металургійного та ливарного виробництва мають процеси відновлення магнію з оксиду у об'ємі металевого розплаву, які можуть здійснюватися за рахунок процесів алюмотермічного відновлення. Відповідно до результатів попередніх досліджень, встановлено що процес алюмотермічного відновлення оксиду магнію у реальній металургійній системі (наявність металевої та шлакової фаз), з урахування утворення комплексних оксидних сполук, можуть бути описані наступними рівняннями реакцій хімічного перетворення:



Температурна залежність енергії Гіббса від температури для реакцій (1) – (4) представлена на рис. 1.

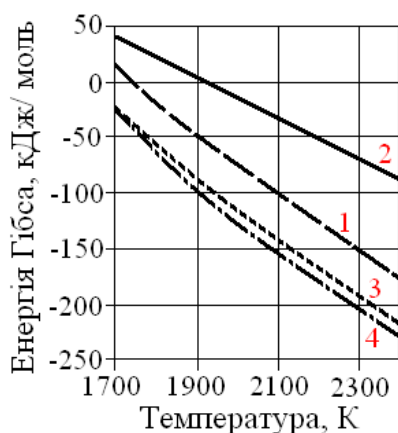


Рис. 1. G – T діаграма для реакцій алюмотермічного відновлення оксидів магнію: цифри біля кривих номери реакцій

Проведений термодинамічний аналіз перебігу хімічних реакцій відновлення оксидів магнію показав, що переважніше процес вести відповідно до схеми з утворенням комплексних оксидних сполук.

Розрахунок складу відновної суміші проводився виходячи з термічності. Термічність – це показник, який характеризує теплотворну здатність однієї одиниці маси матеріалів що вступають у взаємодію. Таким чином, для визначення співвідношення оксидів магнію та кальцію, у складі екзотермічної суміші, були використані рівняння (1), (3) та (4). Загальну термічність екзотермічної суміші можна розрахувати за наступним виразом:

$$q = \frac{\Delta H_{298}^0}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (5)$$

де M_i – сума молекулярних (атомних) мас вихідних речовин, які беруться у стехіометричних співвідношеннях, г / моль;

ΔH_{298}^0 - стандартна ентальпія хімічної реакції, Дж / моль.

Враховуючи те, що джерелом тепла у нашому випадку є реакція алюмотермічного відновлення оксидів заліза, то розрахунок складу екзотермічної суміші проводився у відповідності до правила Жемчужного з урахуванням сумарного протікання цих реакцій. Результати розрахунку різних складів екзотермічної суміші для відновлення магнію з оксиду безпосередньо у обсязі металевого розплаву, за рахунок тепла паралельних хімічних реакцій, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Склад вихідної суміші для відновлення магнію з оксиду безпосередньо у обсязі металевого розплаву за рахунок тепла паралельних алюмотермічних реакцій відновлення оксиду заліза

№ п/п	№ реакції	Склад суміші, %			
		FeO	MgO	Al	CaO
1.	1	63,00	15,00	22,00	-
2.	3	51,00	13,00	18,00	18,00
3.	4	56,00	15,00	22,00	7,00

А. А. Москалина, А. А. Сохацкий, А. Л. Чайка

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАРОК УГЛЕЙ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

В связи с освоением в доменном производстве Украины пылеугольного топлива (ПУТ) целесообразным является расширение методов исследования эффективности доменной плавки, в том числе с использованием понятия эксергии [1, 2].

Применение эксергетического метода расширяет возможности анализа и выбора путей увеличения энергоэффективности доменного производства и металлопродукции в целом. Этот метод широко используется в различных областях науки и техники (альтернативная энергетика, пищевая, текстильная, нефтехимическая промышленности, цементное производство и др.), в металлургии применяется крайне редко.

Для оценки влияния марок углей на эксергетические показатели доменной плавки выполнены прогнозные теплоэнергетические и эксергетические расчеты по данным работы доменной печи (ДП) №4 ПАО «Запорожсталь» объемом 1500 м³ в 2015 году. При проведении аналитических исследований рассматривалось вдувание ПУТ, приготовленного из различных марок углей, в том числе и используемых на ДП №4 при переменной и постоянной температуре фурменной зоны. Температура фурменной зоны поддерживалась постоянной за счет изменения расхода ПУТ.

В независимости от температуры фурменной зоны увеличению содержания углерода и уменьшению содержания летучих в углях для приготовления ПУТ соответствует улучшение показателей тепловой работы печи: увеличиваются усвоенная тепловая мощность, коэффициент использования теплоты топлива (КИТ), тепловой дефицита чугуна по зонам печи, производительности печи и уменьшается расход кокса.

Характер изменения термодинамического совершенства доменного процесса, технологического КПД, обобщенного КПД производства чугуна и экологических показателей при увеличении содержания углерода и уменьшении содержания

летучих в углях для приготовления ПУТ неоднозначный. Наибольшие значения термодинамического совершенства доменного процесса и наилучшие экологические показатели достигаются при использовании марок углей К, Тош. Компромиссным вариантом, улучшающим одновременно эксергетические и теплоэнергетические показатели доменной плавки является использование ПУТ, приготовленных из смеси малозольных углей с богатым содержанием углерода и выходом летучих веществ.

Результаты исследований показали, что для улучшения технико-экономических и экологических показателей доменной плавки целесообразно применение углей для приготовления ПУТ с минимальным содержанием золы. Увеличение содержания углерода в ПУТ в сравнении с увеличением содержания летучих при одинаковой зольности и расходе ПУТ дает выигрыш в производстве и уменьшении расхода кокса, но проигрывает в калорийности доменного газа и степени косвенного восстановления оксидов железа.

Для сохранения и, по возможности, увеличения эффективности доменной плавки при изменении химического состава ПУТ необходимо изменять параметры и состав комбинированного дутья.

От химического состава ПУТ зависят не только технико-экономические показатели тепловой работы доменной печи, но и ресурс работы холодильников и кожуха доменной печи.

Наиболее заметное влияние на развитие теплообменных и восстановительных процессов по высоте печи, изменение производства чугуна и расхода кокса, температуры в фурменной зоне доменной печи оказывает содержание углерода и водорода в ПУТ.

Для уменьшения расхода кокса целесообразно подготавливать смеси углей с высоким содержанием водорода и углерода. Увеличение содержания азота, кислорода, золы и серы, входящих в состав ПУТ, увеличивают расход кокса, производство чугуна может как увеличиваться, так и уменьшаться за счет изменения количества углерода кокса, сгораемого на фурмах.

Список литературы

1. Освоение работы доменной печи полезным объемом 3000 м³ с применением пылеугольного топлива / *Большаков В. И., Чайка А. Л., Лебедь В. В., Шевченко Т. Г., Авдеев Р. В.* // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2012. – №4. – С. 36-40.

2. Проблемы и политика энергосбережения на Западно-Сибирском металлургическом комбинате / Р. С. Айзатулов, А. В. Бородулин, Н. Е. Рехтин, В. С. Степанов и др. // Сталь. – 1997. – №8. – с. 70-77.

УДК 669.18.27

Л. Ю. Назюта¹, И. Н. Костыря², В. С. Денисенко¹

¹ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

²ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», г. Мариуполь

ВАКУУМ-УГЛЕРОДНОЕ РАСКИСЛЕНИЕ – ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА РАСКИСЛИТЕЛЕЙ

Работа проводилась в условиях ККЦ ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», оборудованного 350-т конвертерами верхнего дутья, двухпозиционной установкой печь-ковш (АКП) и установкой ковшевого вакуумирования камерного типа.

Анализ плавок текущего производства показал, что при выплавке трубной стали класса прочности К52 – К60 по действующей технологии (ТПП 232-53-2013) основное количество раскислителей (80 – 90 % марганецсодержащих ферросплавов и 40 – 50 % алюминия) вводят в стальковш. При этом в результате высокой окисленности ванны на повалке ([O] до 0,120 % и FeO в шлаке 18 – 23 %) степень усвоения алюминия составляет 10 – 22 %.

Поэтому средний расход алюминия на выплавку стали К52 в среднем составляет 2,62 кг/т стали. Это в 3 – 4 раза выше теоретически необходимого расхода алюминия, а также значительно выше показателей, достигнутых на предприятиях Европы и России, которые имеют относительно одинаковые мощности, в т.ч. средства внепечной обработки.

Основная масса алюминия идет на раскисление металла и шлака. При объемном раскислении продукт этой реакции Al_2O_3 с температурой плавления $t_{пл} = 2072^\circ C$ остается в объеме металла и образует с оксидами марганца и кремния сложные по составу неметаллические включения.

В период внепечной обработки на АКП происходит дальнейшее раскисление металла. При этом за счет продувки нейтральным газом часть НВ выносятся из объема металла и аккумулируются в шлаке. Анализы показывают,

что в конце внепечной обработки разница между общим содержанием алюминия (в т.ч. в составе НВ) и растворенным в металле достигает 5 – 12 ppm или 10 – 25 % от общего его содержания в готовой стали. Затем металл поступает на вакуумирование. 350-тонный вакууматор конструкции VAI-Fuchs преимущественно используется для дегазации и частичного удаления НВ.

Известно, что расход алюминия и других ферросплавов может быть значительно снижен за счет предварительного раскисления в ковше карбидом кальция (или другими углеродсодержащими материалами), а также в результате предварительного раскисления металла в вакууме – вакуум-углеродного раскисления металла, которое сопровождается интенсивным выделением пузырьков окиси углерода.

Вакуум-углеродное раскисление колесной стали в условиях Нижнеднепровского трубопрокатного завода позволила снизить окисленность металла в среднем на 0,0013 % (13 ppm). Это составило около 45 % уменьшения окисленности ванны и позволило снизить расход алюминия почти на 40 % от начальных величин.

При проведении опытных плавков с вакуум-углеродным раскислением нами был использован опыт зарубежных предприятий (в т.ч. российской Северстали).

На опытных плавках содержание углерода в металле перед обработкой вакуумом составляло 0,4 – 0,6 % при начальной температуре 1540 – 1560 °С, активность кислорода 260 – 320 ppm. Остаточное давление в системе – менее 0,2 кПа, продолжительность вакуумирования – 30 – 40 мин. При таком давлении углерод является более сильным раскислителем, чем кремний и марганец, и по раскислительной способности близок к алюминию.

Термодинамический анализ показывает, что конечное содержание кислорода в металле после вакуумирования ($[C] \cdot [O] = 3.3 \cdot 10^{-6} P_{CO}$) при $P_{CO} = 130 - 150$ Па должно составлять $[O] = (5,3 - 5,9) \cdot 10^{-6} \%$. Реальные концентрации кислорода оказались значительно больше.

Как показали результаты исследования, в этих условиях происходило интенсивное самораскисление металла. За счет повышения раскислительной способности углерода, активность кислорода снижается до величин 3 – 20 ppm.

Последнее явилось предпосылкой снижения расхода алюминия при выплавке трубной стали К52 на 0,4 – 0,5 кг/т стали. При этом за счет общего

снижения окисленности ванны степень десульфурации достигала 94 – 98%
отсутствии затрат на ТШС в стальковше.

УДК 669.18.27

Л. Ю. Назюта¹, М. П. Орличенко², И. Н. Костыря², И. А. Калита¹

¹ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,
г. Мариуполь», ²ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», г. Мариуполь

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ И МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ ТИТАНОСОДЕРЖАЩИХ СТАЛЕЙ

В черной металлургии титан преимущественно используют для микролегирования и модифицирования стали. Это обусловлено специфическими свойствами карбидов и нитридов титана, которые имеют высокую температуру плавления и прочность. Так, например, температура плавления нитрида титана — 2950, карбида титана – 3150°С.

Титан относится к сильным ферритообразующим элементам. Введение титана способствует повышению хладностойкости стали, дисперсионному упрочнению за счет получения мелкозернистой структуры стали и модифицирования неметаллических включений, в том числе сульфидов.

В условиях МК «Азовсталь» титан используют при производстве низколегированных конструкционных (А154В, S355, 16Х2ГСБ, К-56) и трубных сталей (Х70, 09Г2С и др.) При производстве низкоуглеродистых сталей в отсутствии условий глубокого обезуглероживания титан используют для связывания углерода и азота в прочные карбиды и нитриды титана. В этих сталях содержание титана составляет 0,02 – 0,04%.

При оптимизации технологии выплавки титаносодержащих сталей следует учитывать, что титан обладает относительно высокой раскислительной способностью. По своей раскислительной способности он располагается между алюминием и кремнием. При температуре 1600°С и содержании титана в металле около 0,01% в равновесии с ним будет находиться (4-8) 10⁻³% кислорода. Согласно экспериментальным данным фактическое содержание кислорода выше и составляет 0,035%

Однако, учитывая высокую стоимость титана (в 1,8 – 2,6 раз больше алюминия) в качестве раскислителя его практически не используют. Основное назначение титана – формирование мелкодисперсной структуры и упрочнение стали по механизму дисперсионного твердения. Поэтому для предотвращения окисления и повышения степени усвоения титана производят предварительное раскисление металла более сильным раскислителем (алюминием) или углеродом методом вакуум – углеродного раскисления. Последний способ наиболее эффективен при выплавке качественных особо низкоуглеродистых чистых сталей.

Влияние титана на свойства стали определяется остаточным содержанием алюминия в металле. При содержании алюминия более 0,015% титан является основным нитридообразующим элементом, при этом прочностные свойства металла резко повышаются.

Следует отметить, что при выплавке низкоуглеродистых, в том числе автолистовых сталей титан может оказывать негативное влияние на процесс непрерывной разливки стали. Во избежание этого используют двойную стабилизацию: азот связывают титаном, а углерод – ниобием (ванадием). Поэтому в большинстве титаносодержащих сталях кроме титана содержатся ниобий и/или ванадий. Совместный ввод ниобия, ванадия и титана ведет к образованию комплексных образований, так как карбиды и нитриды этих элементов имеют одинаковую структуру решетки.

Технологию выплавки титаносодержащих сталей изучали на примере низкоуглеродистой трубной стали X70, среднеуглеродистой конструкционной A514B и низкокремнистой B431.

Проанализированы особенности раскисления указанных типов стали, в т. ч. за счет использования при раскислении металла в сталеразливочном ковше углеродосодержащих материалов. Показано, что такой способ позволяет стабилизировать окисленность металла перед началом его обработки на АКП и существенно снизить расхода алюминия, но требует дальнейшего изменения технологии раскисления.

Показано, что с целью снижения угара титана и повышения качественных показателей низкоуглеродистой стали его ввод следует осуществлять после окончательного раскисления металла алюминием при содержании в металле не менее 0,022 % кислоторастворимого алюминия совместно с присадкой алюминия (при соотношении алюминия и титана не менее 0,8 ед). При

производстве средне и высокоуглеродистой стали содержание кислоторастворимого алюминия в период ввода титана должно быть более 0,012 %, а соотношение алюминия и кальция не менее 1,2 ед.

УДК 669.18.27

Л. Ю. Назюта¹, М. П. Орличенко², М. А. Христенко²

¹ ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,

г. Мариуполь», ²ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», г. Мариуполь»

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫПЛАВКИ ТРУБНОЙ СТАЛИ X80-X100 В УСЛОВИЯХ «МК АЗОВСТАЛЬ»

На мировом рынке металла наиболее востребована продукция труб большого диаметра (ТБД) четвертого и пятого поколения X70-X120. Их производство базируется на комплексном использовании технологии получения чистых сталей, микролегированных элементами влияющими на структурную перекристаллизацию стали в процессе термо-механической прокатки.

Трубные стали четвертого поколения X70-X80 – малоперлитные стали с добавками карбонитридообразующих элементов с гарантированным уровнем временного сопротивления 550-590 Н/мм². Дисперсионное упрочнение этих сталей достигается за счет совместного микролегирования ниобием (для связывания углерода) и титаном (нитридообразующий элемент). В связи с уникальным влиянием ниобия на процессы структурообразования при горячей деформации (рекристаллизация, рост зерна, дисперсионное твердение) его используют для микролегирования практически всех трубных сталей четвертого поколения. Титан способствует формированию мелкого зерна в зоне сварного соединения и позволяет эффективно контролировать размер зерна при нагреве под прокатку.

Наибольшее распространение получила сталь X70, которая имеет ферритно-бейнитную структуру. Она содержит (% масс.) 0,04-0,06 C, 1,6-1,65 Mn, 0,04 Nb, 0,12 Ni, 0,012 Mo и не более 0,003 S. В 2013 году на МК «Азовсталь» выплавлено около 18 тыс.т. стали X70, микролегированной Nb, V, Mo и Ti.

Повышение прочностных свойств стали четвертого поколения (переход от X70 к X80) достигается за счет увеличения бейнитовой составляющей. Это достигается путем введения в сталь большего количества легирующих

элементов, таких как марганец, молибден, титан, которые тормозят γ - α превращениях.

Первые трубопроводы из стали класса прочности X80 были построены в Германии в 80-х годах XX в. и США в 2003 году. При этом использовали две различные системы легирования C-Mn-Mo-Nb и C-Mn-Cr-Nb и титаном до 0,011-0,019%. В России трубопроводы из стали X80 были построены в республике Коми и содержали 0,038-0,054%Nb и 0,013-0,019%Ti. Сталь имела ферритно-бейнитную структуру при соотношении ингредиентов 30-35/70-65%. На комбинате «Азовсталь» технология производства трубной стали X80 с системой легирования (Nb, V, Mo, Ni, Ti) была освоена в 2013г, в котором выплавлено около 2,8 тыс.т. этой стали. По показателям качества она практически не уступает зарубежным аналогам, хотя использует при внепечной обработке более дешевые альтернативные раскислители.

Разработка стали пятого поколения X100 с гарантированным уровнем временного сопротивления 760-990 Н/мм² и пределом текучести 680-830 Н/мм² основана на концепции производства стали X80 с повышенным содержанием Mo, Ni, Cu, то есть элементов задерживающих γ - α превращение и повышающих прокаливаемость стали. Отличительной особенностью микролегирования является дополнительное использование бора до 0,0018% при одновременном содержании до 0,05% Nb, 0,30% Mo и 0,015% Ti. При переходе на сталь X100 ферритно-бейнитную структура должна измениться практически на бейнитную структуру.

В настоящее время сталь X100 на предприятиях «Метинвеста» не производится. Основная причина в отсутствии надежной методики микролегирования особо низкоуглеродистой стали, которая требует использования вакуумного обезуглероживания и легирования в вакууме. Для этого на комбинате есть необходимое оборудование, но отсутствует техническая поддержка со стороны отечественных и зарубежных инвесторов.

К. Г. Низяев, А. С. Лантух

Национальная Metallургическая Академия Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ВАННЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОДУВКИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ

Оптимальный технологический режим продувки жидкого металла в конвертере, который, во многом, определяется конструкцией кислородной фурмы, является основой достижения высоких технико-экономических показателей кислородно-конвертерного производства. Сведения о характере и направлении потоков жидкости, закономерностях процессов волно- и брызгообразования в конвертере имеют больше значение для развития теоретических основ и практических приложений в конвертерном процессе.

В работе выполнен анализ влияния конструктивных особенностей кислородной фурмы (количества сопел и угла наклона к вертикали), высоты ее положения и давления дутья на частоту образования и амплитуду колебания волн и реакционных зон, образованных кислородными струями из отдельных сопел, относительно стенки конвертера и глубину погружения реакционной зоны. Исследования проводили на «холодной» модели кислородного конвертера.

Результатами холодного моделирования подтверждены, в целом, известные закономерности о росте высоты волны и глубины реакционной зоны при увеличении давления дутья на ванну. Однако при определенных параметрах продувки наблюдаются аномалии, которые требуют последующего, более тщательного изучения.

Список литературы

1. *Сущенко А.В.* Совершенствование и оптимизация дутьевых режимов и устройств кислородных / А.В.Сущенко // Вісник ПДТУ. – 2009. – Вип. 19. – С. 36-41
2. *Марков Б.Л., Кирсанов А.А.* Физическое моделирование в металлургии. – М.: Metallургия, 1984.– 119 с.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТАЛИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Неметаллические включения (НВ) существенно влияют на служебные свойства стали. В большинстве своём данное воздействие носит отрицательный характер, а значит, наличие НВ в стали является нежелательным.

Выполнена оценка количества раскислителей переходящих в оксиды в зависимости от степени усвоения элементов при раскислении спокойных марок стали в условиях конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского».

Основными раскислителями, применяемыми при производстве спокойных марок стали, являются силикомарганец марки FeMnSi (ГОСТ 4756-91, ISO4754-80), ферросилиций ФС45 (ДСТУ 4127:2002) и алюминий вторичный АВ87 (ГОСТ 295-7979).

Расчётные значения среднего количества оксидов и вес плавки для исследуемых марок стали приведен в таблице 1.

Таблица 1

Среднее количество эндогенных оксидов, вносимых в сталь при раскислении

Марка стали	Масса оксидов, кг/т			Всего, кг/т
	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
09Г2С	8,42	8,14	0,77	17,33
ПТ70сп	3,21	2,11	0,62	5,94
70Г	1,41	1,01	0,59	3,01
К63	2,14	2,03	0,25	4,42

Вторым этапом исследований являлось, определение количества экзогенных неметаллических включений вносимых в сталь в процессе разрушения огнеупорной сифонной проводки разных производителей.

Расчёт массы огнеупорного материала, переходящего в сталь производили по формуле

$$\Delta M_{oz} = \rho_{oz} \cdot \left(\pi \cdot \left[d_{сиф}^k{}^2 - d_{сиф}^н{}^2 \right] \cdot H_{сиф} + \frac{\pi}{4} \cdot \left[d_{ц}^k{}^2 - d_{ц}^н{}^2 \right] \cdot H_{ц} \right), \quad (1)$$

где $d_{сиф}^к, d_{сиф}^н, d_{ц}^к, d_{ц}^н$ – диаметр канала сифонной проводки и центральной после взаимодействия с жидким металлом и до соответственно, м;
 $H_{сиф}, H_{ц}$ – длина соответственно сифонной проводки и центральной, м;
 $\rho_{ог}$ – плотность огнеупора, кг/м³.

В табл. 2 приведены расчетные данные массы огнеупора переходящей в сталь для различных производителей поставляющих огнеупорные изделия на предприятие.

Таблица 2

Количество огнеупорного материала, переходящего в сталь, при использовании огнеупорных материалов

Производитель	Масса огнеупорного материала, кг/поддон
ПАО «Кондратьевский огнеупорный завод»	0,26
ПАО «Красногоровский огнеупорный завод»	0,29
ПАО «Часовоярский огнеупорный комбинат»	0,35

На основании выполненных исследований установлено, что основным источником поступления оксидных неметаллических включений при производстве спокойных марок стали в условиях конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского» являются продукты раскисления. Однако детальный анализ образцов металла на преимущественное присутствие неметаллических включений состоящих из оксидов кремния и алюминия, что может быть связано с поступлением их из огнеупорных материалов сифонной проводки.

ПРОДУВКА МЕТАЛЛА АРГОНО-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСЬЮ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ В ПОДОВЫХ АГРЕГАТАХ

Одни из основных потребителей металлопродукции, такие отрасли как: авто-, авио- и судостроения, трубопрокатные и прочие, с развитием прогресса, как и остальные промышленности, постепенно повышают предъявляемые требования по качеству к исходной продукции, которые напрямую зависят от химического состава самого расплава, что заставляет еще больше задуматься над решением существующих на сегодняшний день проблем, стоящими перед сталеплавильщиками, такие как получение расплава с особо низким содержанием нежелательных для определенных марок стали примесей (S, P), неметаллических включений, а также углерода, который определяет ряд механических свойств металла при прокатке. Помимо всего этого, так же нужно учитывать и целый ряд остальных факторов, влияющих на сам процесс получения такого расплава, одним из которых является, окислительная способность кислорода. На сегодняшний день существует достаточное количество технологий производства низкоуглеродистых сталей в кислородном конвертере и сравнительно малое для подовых агрегатов.

Разработанная технология заключается в продувке металлической ванны подового агрегата смесью инертный газ – кислород переменного состава с переменным расходом (основные параметры приведены в таблице 1).

Таблица 1

Основные технологические параметры продувки металлической ванны в подовом агрегате смесью инертный газ – кислород*

№ п/п	Тип газа	Время продувки в доводку, % от общ. длительности	Расход, м ³ /т мин
1.	O ₂	0 – 60	22
2.	O ₂ /N ₂ (10%)	60 – 80	25
3.	O ₂ /Ar (30 %)	80 – 90	28
4.	Ar	90 - 100	15

*для обеспечения производительности плавильного агрегата на заданном уровне недостающее количество кислорода компенсируется вводом железорудных материалов

Разработанная технология позволяет увеличить выход годной стали на 0,37 % (за счет снижения окисленности шлака), повысить качество металла за счет снижения количества неметаллических включений в стали (обеспечивается продувкой ванны чистым аргонem на последней стадии плавки).

УДК 669.184.244.66

С. П. Пантейков, Е. С. Пантейкова

Днепродзержинский государственный технический университет,
г. Днепродзержинск,

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОНАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ОГНЕУПОРОВ ДНИЩА КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА С УЧЁТОМ ИХ ОШЛАКОВАНИЯ

Одним из важным показателей работы кислородных конвертеров является стойкость футеровки, в частности – футеровки днищ, которая работает в тяжёлых условиях, подвергаясь: воздействию высоких температур; термическим напряжениям от колебаний температур; ударам кусков шихты при загрузке; знакопеременным нагрузкам при вращении конвертера; размывающему действию потоков расплава [1]. Поэтому проблема увеличения стойкости днищ конвертеров всегда являлась и является актуальной.

Применение технологии ошлакования футеровки позволяет в значительной степени защитить огнеупоры днища от механического воздействия лома при его загрузке и от контакта огнеупоров днища с высокотемпературным расплавом в ходе его продувки за счёт формирования на рабочей поверхности днища агрегата слоя дополнительного гарнисажного покрытия за счёт шлака, оставшегося от раздувки его на стены конвертера. При этом, главными причинами низкой стойкости футеровки днищ конвертеров является постоянная работа огнеупоров в напряжённом состоянии из-за воздействия на их рабочую поверхность высокотемпературной агрессивной

среды (расплава) и охлаждения огнеупоров днища со стороны кожуха агрегата. В этих условиях в теле огнеупорных блоков, из которых состоит футеровка днища, возникают термические напряжения [1], связанные с наличием осевого градиента температур, характерного для всех теплотехнических агрегатов [2]. Это приводит к растрескиванию огнеупоров, что снижает стойкость футеровки.

Авторами данной работы разработана математическая модель термонапряжённого состояния огнеупорных блоков днища кислородного конвертера с верхней продувкой с учётом слоя шлака, намороженного на днище. В основу модели положена разработанная ранее математическая модель [3] теплового состояния днища кислородного конвертера с учётом слоя защитного шлакового покрытия. Расчёт поля градиентов температур, возникающих в огнеупорном материале днища кислородного конвертера, произведён путём решения задачи Стефана с двумя подвижными границами методом контрольного объёма [4] с использованием метода Дюзимбера [5] по явной разностной схеме [6]. При этом, значения термических напряжений I рода (т.е. вызываемых градиентом температур) определялись, согласно теории термоупругости, с использованием уравнения Гука [2] при ограничении расширения по толщине днища на основании допущения о чисто упругом поведении огнеупорного материала, постоянстве его упругих характеристик и при предположении об отсутствии внешних нагрузок на огнеупоры днища.

Математическая модель написана на алгоритмическом языке Turbo Pascal 7.0. Её реализация позволила получить информацию о влиянии вида огнеупора днища, его толщины и параметров гарнисажа в необходимый момент времени продувки на изменение величин термонапряжений, возникающих в днище конвертера. Рекомендуется к использованию при разработке, внедрении и совершенствовании технологий ошлакования футеровки конвертеров с целью эффективного продления срока службы их днищ.

Список литературы

1. *Суворов С.А., Тарабанов В.Н. Козлов В.В.* Эволюция износа футеровки конвертера для плавки стали // Известия СПбТИ(ТУ).- 2013.- № 19.- С.22-26.
2. *Стрелов К.К., Кащеев И.Д., Мамыкин П.С.* Технология огнеупоров. – М.: Металлургия, 1988.– 528 с.
3. *Пантейков С.П., Пантейкова Е.С.* Математическая модель теплового состояния днища кислородного конвертера с учётом слоя защитного

шлакового покрытия // «Современная металлургия нового тысячелетия»: Сб. науч. тр. XI Международной научно-практической конференции.– Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2015.– С.89-92.

4. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи.- М.:Энергия, 1979.-344 с.
5. *Радл У.* Затвердевание отливок.- М.: Машгиз, 1960.- 391 с.
6. *Самарский А.А., Гулин А.В.* Численные методы: Учебное пособия для вузов.- М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989.- 432 с.

УДК 669.184.244.66

С. П. Пантейков, Л. П. Семерунина

Днепродзержинский государственный технический университет, г.
Днепродзержинск

О ТЕРМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЯХ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ОГНЕУПОРНОМ МАТЕРИАЛЕ БЛОКОВ SA-ФУРМ КОНВЕРТЕРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДУТЬЯ

Одним из важных технико-экономических показателей работы конвертеров с донным дутьём является стойкость футеровки днища агрегата, которая лимитируется стойкостью применяемых в процессе конвертирования донных дутьевых фурм, работающих в сложных термонапряжённых условиях.

Для изучения влияния различных факторов на стойкость огнеупоров кольцевых (SA-) фурм для донной продувки расплава нейтральными газами в конвертере была разработана математическая модель термонапряжённого состояния огнеупорного блока кольцевой донной фурмы [1], реализация [2] которой на персональном компьютере позволяет получать информацию о полях температурных напряжений в огнеупорном материале дутьевого устройства по ходу конвертерной плавки. При этом, возможно моделирование различных условий плавки путём варьирования расходом нейтрального газа, его температурой и видом, типом конструкции продувочного устройства и его геометрическими параметрами, видом применяемого огнеупорного материала.

Используя результаты исследований тепловой работы донного блока кольцевой фурмы и полученную информацию о температурных полях блока при различных условиях [3, 4], был произведён расчёт термических напряжений

в осевом и радиальном направлениях для донных огнеупорных блоков кольцевых фурм применительно к промышленным 250-тонным агрегатам.

При реализации данной математической модели было установлено следующее: повышение термостойкости фурменного блока при повышении в нём содержания графита до 20...25 % (увеличение в 2...3 раза теплопроводности, снижение модуля упругости), при уменьшении межплавочного простоя агрегата, при снижении расхода донного дутья, вплоть до полного его отключения при простоях агрегата. Также подтверждено предположение о значительном повышении стойкости продувочного блока при использовании для перемешивания расплава подогретого донного дутья.

Установлено наиболее оптимальное сочетание расходов подаваемых на донное перемешивание газов и их температур, типа конструкции SA-фурмы и вида применяемого огнеупорного материала с точки зрения значительного снижения температурных напряжений в теле блока.

Полученные результаты позволили выдать рекомендации по снижению термических напряжений по сечению огнеупорного блока, способствующие повышению стойкости кольцевых донных дутьевых SA-фурм.

Ведутся работы по исследованию влияния конструкции донной фурмы и металлической настыви, образующейся на торце фурмы в процессе продувки расплава, и шлака, покрывающего рабочий торец блока в результате ошлакования футеровки конвертера, на значения термических напряжений, возникающих в огнеупоре донного блока SA-фурмы.

Список литературы

1. *Пантейков С.П.* Математическая модель термонапряжённого состояния фурменного блока кольцевой фурмы для донного перемешивания расплава в конвертере комбинированного дутья // Азовсталь-99: Тезисы докладов научно-технической конференции молодых специалистов.- Мариуполь, 1999.- С.23.

2. *Пантейков С.П.* Численные исследования термических напряжений в конвертерном одноканальном огнеупорном блоке для продувки расплава нейтральными газами // Проблемы математичного моделювання: Тези доповідей Міждержавної науково-методичної конференції.- Дніпродзержинськ, 2002.- С. 112.

3. *Пантейков С.П.* Численные исследования температурных полей в кольцевой донной конвертерной фурме // Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах: Материалы VI международной научно-технической конференции.- Мариуполь, 2000.- С.126.

4. *Пантейков С.П. Семерунина Л.П.* Исследования тепловой работы SA-фурм для донного перемешивания расплава в конвертере // "Литье. Металлургия. 2015": Материалы XI и IV Международных научно-практических конференций (26-28 мая 2015 г., г.Запорожье) / Под общ. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.И. – Запорожье, ЗТПП, 2015.– С.363-365.

УДК 669.15'28-198

А. С. Петрищев¹, С. М. Григорьев²

¹Запорожский национальный технический университет, Запорожье

² Запорожский национальный университет, Запорожье

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО МОЛИБДЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТА, КАК РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ

Ориентация на преимущественно экстенсивное использование природных ресурсов экономически оправдана в недалеком прошлом, в современных условиях не только нецелесообразна, но и невозможна. Доступность и сравнительная дешевизна природных ресурсов, которая имела место в период экстенсивного экономического роста, не стимулировала формирования прогрессивной с позиций современной технологической структуры металлургии, комплексного использования сырья и материалов, которое привело к чрезмерной энерго- и материалоемкости конечного продукта. Эти тенденции особенно проявились в металлургии редких металлов и легирующих материалов на их основе.

Проблемы интенсификации существующих и создание новых возможностей использования рудного сырья и металлооксидных техногенных отходов специальных сталей не могут быть решены без глубокого изучения физико-химических закономерностей процессов восстановления оксидов металлов. Восстановление оксидных соединений металлов, осуществляемое за

счет присутствующего в системе углерода, принадлежит к группе важнейших металлургических процессов. Особая роль в этом отводится процессам получения тугоплавких металлов. Наиболее распространенным из них является молибден [1, 2]. Высокая летучесть высших оксидных соединений молибдена при повышении температуры приводит к существенным его потерям при выплавке стали в результате угара [3]. Представляется перспективным получение молибденовых легирующих материалов в гетерогенной системе методами порошковой металлургии [4].

Однако проблемы создания экономически выгодных технологий производства легирующих материалов на основе молибдена с заданными свойствами остаются актуальными. В связи с этим исследования механизма фазовых превращений соединений молибдена крайне необходимы для разработки оптимальных технологических параметров его восстановления и регулирования свойств целевого продукта.

Цель работы заключалась в исследовании особенностей фазового состава и структуры металлизированного молибденового концентрата, полученного восстановлением в гетерогенной системе без появления жидких фаз в опытно-промышленных условиях.

Проведенные рентгеноструктурные фазовые исследования показали, что полученный в опытно-промышленных условиях металлизированный молибденовый концентрат в основном состоит из молибдена металлического. Наряду с ним выявлены карбиды MoC и Mo_2C . В качестве недовосстановленной оксидной составляющей имели место оксикарбид молибдена и низший оксид MoO_2 . Фрагментарно проявлялись промежуточные по содержанию кислорода (между MoO_2 и MoO_3) оксидные соединения молибдена, один из которых Mo_8O_{23} . Микроструктура – губчатая, с включениями сопутствующих оксидных рудных примесей Si, Ca, Al, Mg, K, Na. Исходя из комплекса проведенных исследований становится очевидным, что осуществлен перевод преобладающей части оксидных соединений молибдена в молибден металлический и карбидные соединения, обладающие повышенной восстановительной способностью и не склонных к сублимации. Присутствие остаточного углерода, обеспеченное расчетным соотношением O/C 0,8–1,1 в шихте ниже стехиометрического, позволяет осуществить довосстановление оксикарбидной и оксидной молибденосодержащей составляющей непосредственно в жидкой ванне в

процессе легирования, обеспечивая дополнительную защиту от вторичного окисления и снижая таким образом безвозвратные потери целевого элемента.

Список литературы

1. *Острик П. Н.* Metallurgy губчатых и порошковых лигатур / П. Н. Острик, М. М. Гасик, В. Д. Пирог. – К.: Техника, 1992. – 128 с.
2. *Ожогин В. В.* Использование нетрадиционных восстановителей в производстве металлизированных брикетов / Ожогин В. В., Жерлицина О. В., Бочек А. П. [и др.] // Сталь. – 2007. – №1. – С. 96–99.
3. *Григорьев С. М.* Анализ поведения молибдена при тепловой обработке обожженного концентрата / С. М. Григорьев, А. С. Петрищев, А. М. Ковалев // Сталь. – 2012. – №6. – С. 29–32.
4. *Петрищев А. С.* Некоторые физико-химические закономерности углеродотермического восстановления оксидного молибденового концентрата / А. С. Петрищев, С. М. Григорьев // Сталь. – 2012. – №12. – С. 27–30.

УДК 669.02/.09

В. М. Полещук, В. Л. Бровкин, Т. О. Витер

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ НА СОРТОВЫХ МНЛЗ

В работе исследуются вопросы сокращения потерь металла в окалину при непрерывной разливке сортовой заготовки на основе математического моделирования тепло- и массообменных процессов.

Расчеты процессов охлаждения и окисления непрерывнолитого слитка вдоль технологической оси МНЛЗ выполнялись порекомендациям [1, 2].

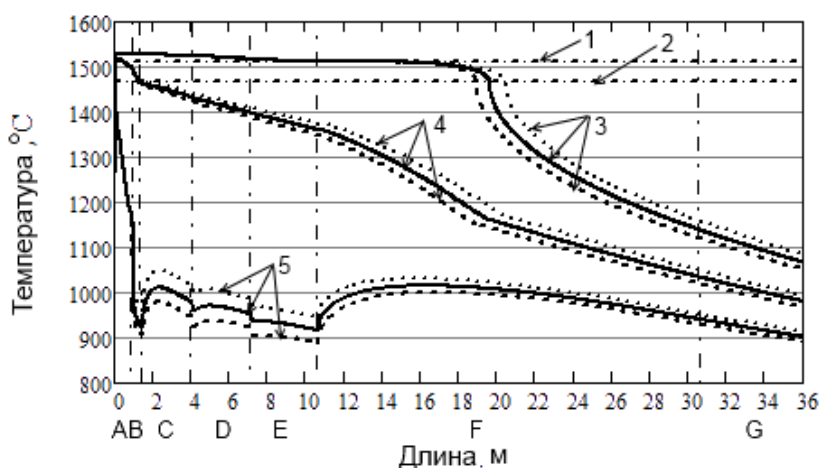
Исходные данные соответствовали техническим условиям одного из металлургических заводов Украины: материал – сталь 3; сечение слитка 130×130 мм; скорость разливки 4 м/мин; доля воды от ее общего расхода на каждый участок ЗВО: 1 – 34%, 2 – 37%, 3 – 17%, 4 – 12%. Общий удельный расход воды приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры режимов охлаждения в ЗВО

Режим охлаждения	Общий удельный расход воды, м ³ /(м ² ·час)	Обозначение кривых на рисунках 1-2
Мягкий	50,7	точки
Средний	70	сплошная линия
Жесткий	91	пунктир

Отдельные результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2.

Как видно из рисунка 1 металлургическая длина составляет: для мягкого режима – 20,5 м, для среднего – 19,5 м, для жесткого – 18,5 м. Как видно из рисунка 2 масса окалины на момент порезки составляет: для мягкого режима – 195 г/м², для среднего – 180 г/м², для жесткого – 160 г/м². При переходе от мягкого режима охлаждения к более жестким потери металла в окалину сокращаются: на 12% при переходе от мягкого режима к среднему и на 20% при переходе от мягкого к жесткому. Как видно из таблицы 1 это приводит к увеличению расхода воды, соответственно, на 38% и 80%. При этом повышается вероятность образования дефектов из-за увеличения термических напряжений по сечению непрерывнолитого слитка.



А – кристаллизатор; В-Е – 1-4 зоны вторичного охлаждения; F – участок до порезки; G - участок после порезки; 1 – температура ликвидус; 2 – температура солидус, 3 - температуры центра; 4 – среднемассовые температуры; 5 – температуры поверхности

Рисунок 1 – Температурная диаграмма процесса охлаждения непрерывнолитого слитка при заданных режимах охлаждения в зоне ЗВО

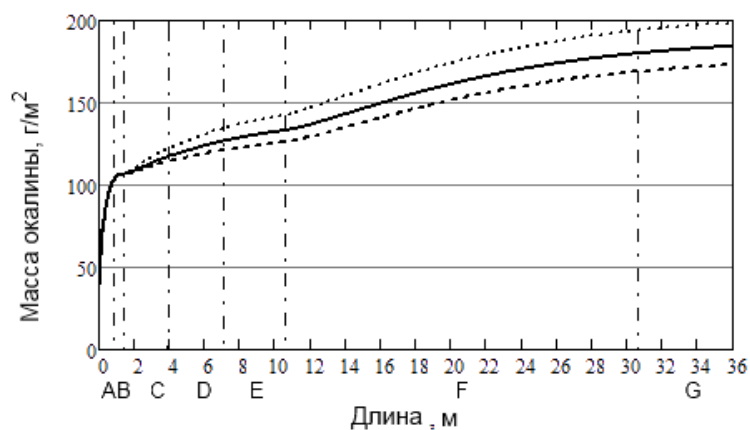


Рис. 2 – Изменение массы окалины вдоль оси МНЛЗ при заданных режимах охлаждения в зоне ЗВО

Список литературы

1. Polyeshchuk V., Brovkin V., Viter T. and others. Research of temperature fields and thermal stresses in the continuous casting ingot/ V. Polyeshchuk, V. Brovkin, T. Viter, L. Lazic, A. Varga, J. Kizek// 14-th International Scientific Conference “Energy transformations in industry”, September 23-25, 2015, StaraLubovna. – 2015. – P. 136-141.
2. Губинский В.И. Уменьшение окалинообразования при производстве проката / В.И. Губинский, А.Н. Минаев, Ю.В. Гончаров. – К.: Техніка, 1981. – 135 с.

УДК 669.18:621.746

В. П. Полетаєв, А. А. Похвалітій

Дніпродзержинський державний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ СТАЛІ В УМОВАХ ПАТ «ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ»

Однією з основних умов розвитку чорної металургії України є максимальний перехід на розливку виплавляємої сталі безперервним способом. В 1994 році в киснево-конвертерному цеху Дніпровського меткомбінату введено в експлуатацію відділення безперервного розливання сталі (ВБРС). В теперішній час вся сталь розливається безперервним способом.

Найбільший вплив на структуру безперервнолитого зливку і, відповідно, його якість, виявляють розміри поперечного перерізу, хімічний склад сталі, температура металу, швидкість розливання, інтенсивність тепловідведення. При збільшенні температури сталі суттєво збільшується зона стовпчастих кристалів. Для оптимізації технологічного процесу необхідно знати вплив різних факторів у період від випуску металу з конвертера до розливання на зміну температури сталі. Це дозволить стабілізувати умови розливання і випускати метал з конвертера з мінімальним перегрівом. Експлуатація установок «ківш-піч» дає додаткові можливості для стабілізації температурного режиму розливки.

Основою розробки технології безперервної розливки є визначення її температурно-швидкісного режиму від якого залежить якість заготовки і стабільність роботи машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Виконаний аналіз окремих ланок виробництва сталі показав, що загальні втрати тепла від випуску металу з конвертера до подачі його в промківш складають $\Delta t = 131,8^{\circ}\text{C}$. Це співпадає з даними роботи [2] ($130-140^{\circ}\text{C}$ в залежності від марки сталі).

Виплавка і позапічна обробка металу для розливки на МБЛЗ визначаються на основі заводських технологічних інструкцій. В даних інструкціях, в залежності від сортаменту відливаємих заготовок і їх призначення, обумовлюють наступні вимоги: - максимально допустимий вміст шкідливих домішок (сірка, фосфор, мідь та інші); - необхідний вміст залишкового алюмінію в металі; - максимально допустимі концентрації розчинених в металі газів; - допустима кількість, форма і склад неметалевих включень; - інтервал температури розливаемого металу.

Температура металу при випуску з сталеплавильного агрегату повинна відповідати, з урахуванням експериментально визначених перепадів на шляху від випуску металу до проміжного ковша [1], в проміжному ковші по ходу розливки наступному виразу

$$t_{\text{до}} = t_{\text{за}} + (15 \div 20) \pm 7^{\circ}\text{C}.$$

За винятком випадків відливки заготовок з легованих сталей з особливими вимогами до якості поверхні, коли допускається перегрів до 50°C .

$$t_{\text{за}} = 1537 - (88 \cdot [\% \text{N}] + 8 \cdot [\% \text{Si}] + 5 \cdot [\% \text{Mn}] + 5 \cdot [\% \text{Co}] + 2 \cdot [\% \text{Mo}] + 2 \cdot [\% \text{V}] + 1,5 \cdot [\% \text{Cr}] + 25 \cdot [\% \text{S}] + 30 \cdot [\% \text{P}])$$

Рівномірність температури металу в проміжному ковші по ходу розливки в указаних межах забезпечується виконанням наступних додаткових умов:

- максимально допустимим часом між закінченням позаагрегатної обробки і початком розливки (яке коливається в межах від 5 до 30 хв. в залежності від ємності ковша;

- застосуванням в разі необхідності футерованих кришок для сталерозливних ковшів.

Введення в експлуатацію в киснево-конвертерному цеху Дніпровського меткомбінату установки «ківш-піч» дозволило суттєво покращити умови підготовки металу до безперервної розливки. Згідно даним підприємства використання установки «ківш-піч» в технології виробництва сталі дозволило зменшити температуру випуску сталі з конвертера на 20-40°C, скоротити витрату чавуну, в середньому, на 20 кг/т сталі.

Список літератури

1. Освоение производства непрерывнолитых заготовок на Днепровском металлургическом комбинате / *Н.П. Подберезный, С.С. Бродский, Л.М. Учитель* [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 1996. – №9-10. – С. 11-15.
2. Теория и практика непрерывного литья заготовок / [*А.Н. Смирнов, А.Я. Глазков, В.И. Пилушенко* и др.]. – Донецк: ООО «Норд компьютер». – 2000. – 364 с.

УДК 696.184

Д. В. Пономаренко

ООО ДНЕПРОСТАЛЬ, г. Днепропетровск

СНИЖЕНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В ДСП В УСЛОВИЯХ МЗ «ДНЕПРОСТАЛЬ»

Производство стали в условиях «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ» обеспечивается 3-х фазной электродуговой печью переменного тока с эркерным выпуском, произведенной фирмой «Даниели». Проектная производительность печи 1 320 000 тонн стали / год, при этом печь обладает следующими основными технологическими характеристиками: вместимость – 186 т; масса плавки – 160 т (технологический остаток металла – 26 т); длительность плавки – 53 мин; для ввода кислорода и порошкообразных углеродистых материалов в составе

8 горелок (6 из которых с режимом ультразвуковой подачи) и 4 инжекторов для ввода угольного порошка. Кроме того дуговая сталеплавильная печь оборудована: автоматизированной системой управления процессом, подачи шлакообразующих материалов и ферросплавов; манипулятором автоматического отбора пробы и замера температуры металла.

На сегодняшний день в связи с падением мирового объема производства стали, а также переориентацией продукции на рынки Европы предприятие «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ» вынуждено было снизить объемы производства стали. При этом основным направлением усовершенствования производства стало снижение расходного коэффициента металлошихты (РКМ), а также повышение качества, производимой продукции, т.к. металлошихта – основное сырье и основная статья финансовых затрат в себестоимости стали. В связи с этим, техническими специалистами предприятия были внесены изменения в энерготехнологический режим ведения плавки, основные из которых в частности относились к мероприятиям по ограничению расхода кислорода на систему газоокислородных горелок. Влияние повышенного расхода кислорода при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи оказывает как положительное так и отрицательное воздействие на технологию выплавки стали. При этом к положительным факторам можно отнести: снижение расхода электроэнергии за счет повышения доли химической энергии в тепловом балансе печи; снижение длительности плавки. К наиболее значимым отрицательным факторам относится: высокое содержание оксидов железа в шлаке и как следствие, снижение выхода годного металла (увеличение РКМ) из-за потерь металла со шлаком; снижение стойкости футеровки дуговой сталеплавильной печи и сталеразливочных ковшей; повышенный расход раскислителей и ферросплавов; негативное влияние на качество продукции из-за высокой окисленности металла.

В ходе промышленных испытаний установлено, что при снижении окисленности металла с 1000 ppm до 600 – 650 ppm расчетное снижение безвозвратных потерь чистого железа слитого со шлаком составляет ~ 1,7 т/плавку. Фактическое снижение расходного коэффициента металлошихты (РКМ) составило 10,0 кг/т или 1,6 т/плавку.

УДК 669.184; 669.046

А. А. Похвалитый, А. Д. Кулик, В. П. Полетаев, М. А. Кашеев, Д. С. Кочмола
Днепродзержинский государственный технический университет,
Днепродзержинск

ОБРАБОТКА ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ СТАЛИ В ЛЕТКЕ КОНВЕРТЕРА

Выпускной канал (лётка) любого сталеплавильного агрегата является очень важным его узлом, от состояния и геометрических параметров которого во многом зависят результаты производства стали. Его функции в последние десятилетия расширены в связи с проблемой отсечки печных шлаков. В работе [1] наряду с отсечкой печного шлака авторами рассматривается возможность реализации процесса рафинирования нераскисленного металла от газов (N, H, CO). Для растворенных в металле газов пузыри инертного газа представляют собой химический вакуум, в котором их начальное содержание равно нулю. Поэтому газы стремятся насытить пузыри аргона и достичь состояния равновесия.

Для снижения содержания кислорода в нераскисленной стали за счет остаточного углерода необходимо выполнять её обработку инертным газом (аргоном) с удельным расходом не менее $1 \text{ м}^3/\text{т}$ стали [2]. Данный способ можно называть углеродным раскислением, механизм которого идентичен по сути процессу обезуглероживания металла при продувке его инертным газом, т.к. в обоих случаях протекает реакция $\text{C} + \text{O} = \text{CO}$. Однако при углеродном раскислении снижают концентрацию кислорода в металле для уменьшения загрязненности неметаллическими включениями и повышения экономии металлических раскислителей (Al, FeMn, FeSi и др.). Более детально о целесообразности выполнения раскисления углеродом указано в работе [3].

Из-за большого удельного расхода аргона выполнять операцию углеродного раскисления в ковше нецелесообразно, т.к. для получения заметного эффекта на качество расплава требуется значительное время обработки. Выполнение данной операции в конвертере за короткий промежуток времени технически возможно ввиду его большого удельного объема, однако является также нерациональным из-за интенсивного перемешивания высокоокисленного шлака с металлом, т.к. на активность кислорода в металле значительное влияние оказывает окислительный потенциал шлака. С учетом

вышесказанного было предложено операцию дегазации нераскисленного металла проводить в процессе выпуска плавки из конвертера, выполняя продувку инертным газом в летке [4].

Подача инертного газа в полость летки, несомненно, влияет на организацию потока металла. Поэтому с помощью методов физического холодного [5] и высокотемпературного [6] моделирования были изучены гидродинамические процессы при вдувании газа в летку конвертера. Установлена возможность преобразования струи металла в полости выпускного канала в газожидкостный поток с различной степенью организации его после выхода из летки. Доказана возможность получения высокоорганизованного газожидкостного потока с оптимальным временем выпуска при использовании двухкамерной летки. Также установлены следующие зависимости: - увеличение количества сопел повышает однородность дисперсной фазы; - повышение давления дутья увеличивает дисперсность газо-металлического потока.

Список литературы

1. Гічов Ю. О., Бичков С. В., Малик О. О., Жаворонков Ю. І., Перцевий В. О. Спосіб відділення металу і шлаку // Патент України № 37723. 2008. Бюл. № 23.
2. Рафинирование металла от углерода и кислорода с помощью залповой продувки аргоном в конвертере / А. Я. Стомахин, Г. И. Васильев, В. В. Рябов, М. Г. Королев и др. // Труды второго конгресса сталеплавильщиков. (Липецк, 12-15 октября 1995 г.). Москва. – 1994. – С. 105-107.
3. Предварительное углеродное раскисление стали / А. А. Похвалитый, А. Д. Кулик, В. П. Полетаев, М. А. Кащеев // Збірник статей 35 міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя». (Запоріжжя, 24-27 листопада 2015 р.). – Запоріжжя, 2015. – С. 44-45.
4. Огурцов А. П., Кулик А. Д., Кащеев М. А., Похвалитый А. А., Дерипаско В. О. Спосіб позапічної обробки металлу // Патент України № 93239. 2014. Бюл. № 18.
5. Кулик А. Д. Совершенствование выпуска стали из конвертера / А. Д. Кулик, М. А. Кащеев, А. А. Похвалитый // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №1. – С. 18-20.
6. Результаты высокотемпературного моделирования выпуска плавки из конвертера с подачей аргона в полость летки / Похвалитый А. А., Кулик А. Д., Сигарев Е. Н., Чубин К. И., Кащеев М. А., Стоянов А. Н. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – №2. – С. 18-25.

А. О. Пушкаръов¹, В. Г. Герасименко², Є. В. Синегін²

¹ПАО «Запоріжсталь», м. Запоріжжя², Національна металургійна академія
України, м. Дніпропетровськ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ СТАЛІ В ПРОМІЖНОМУ КОВШІ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ АСИМІЛЮЮЧОЇ ШЛАКОУТВОРЮЮЧОЇ СУМІШІ

На сьогодні накопичений великий обсяг експериментальних матеріалів стосовно застосування шлакоутворюючих сумішей (ШУС) для проміжного ковша МБЛЗ при розливанні сталі. Поряд зі зростанням загальних обсягів виробництва безперервнолитих заготовок, розширюється область застосування металу безперервного розливання для виготовлення металопродукції з підвищеними вимогами до їх якості, що пов'язано з удосконаленням наскрізний технології виробництва безперервно-литих заготовок. Помітну роль у підвищенні якості литих заготовок і стабілізації процесу розливання грає проміжний ківш МБЛЗ. В останні роки в Україні та за кордоном велика увага приділяється так званій "металургії проміжного ковша". У сучасній технології безперервного розливання сталі проміжний ківш виконує не тільки функції розподільника і регулятора витрати металу по струмках МБЛЗ, але є також агрегатом, де здійснюється додаткове очищення металу, що надходить з сталерозливного ковша, від неметалевих включень різного походження і газів, стабілізується температура металу по ходу розливання. Основну роль у цих процесах забезпечує захисний шлак, що покриває дзеркало металу в проміжному ковші, а також характер і швидкості потоків металу у ванні проміжного ковша, що визначають умови взаємодії шлаку з неметалевими включеннями.

В умовах світової конкуренції постає задача підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на принципово новий рівень. Переведення металургійних підприємств України на безперервне розливання сталі є одним з пріоритетних напрямків розвитку вітчизняної металургії. Сьогоднішня металургія як ніколи має потребу в підвищенні енергоефективності та поліпшенні якості металу, особливо шляхом видалення неметалевих включень. В світовому масштабі поставлена мета реалізується різними способами, серед яких установка перегородок в промковші, продувка інертним газом через пористі пробки та стопори-моноблоки, електромагнітне

перемішування, обробка активними реагентами тощо. Електромагнітне перемішування металу, яке по суті є різновидом суспензійного розливання, отримало неоднозначне сприйняття у деяких країнах світу і, до того ж, потребує складного обладнання і кваліфікованого персоналу. Недоліком перегородок в промковші є висока вартість вогнетривких виробів і необхідність у їх точному позиціонуванні. Технологія продувки металу інертними газами в промковші викликає необхідність переобладнання конструкцій промковша, а також збільшує матеріальні витрати на розливку сталі.

Пропонована технологія використання асимілюючої шлакоутворюючої суміші позбавлена всіх цих недоліків, оскільки не вимагає використання дорогого обладнання і не потребує точної настройки і висококваліфікованого персоналу. Введення ШУС може проводитися не лише з метою поліпшення асимілюючої здатності, а й для зменшення матеріальних витрат на футерівку. Пропонована технологія застосування ШУС дозволить суттєво підвищити якість сталевої продукції.

УДК 696.184

Р. В. Савиновский

ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича»,
г. Мариуполь

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ КОВШЕВЫХ ШЛАКОВ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ НА УЧАСТКЕ КОНВЕРТЕР – АДС

Для успешного проведения рафинировочных процессов на участке конвертер - АДС, ковшевой шлак во время обработки стали должен отвечать следующим требованиям: быть основным, умеренно обогащенным известью, для обеспечения эффекта раскисления и десульфурации; быть жидкоподвижным за счет соответствующего содержания Al_2O_3 в диапазоне 17-27 % с целью образования защитного гарнисажного покрытия на футеровке сталеразливочного ковша; иметь высокую десульфурующую способность; обладать высокими ассимилирующими свойствами по отношению к неметаллическим включениям.

Результаты десульфурации практически не зависят от марки стали, однако весьма зависят от концентрации серы на выпуске, окисленности металла и шлака, концентрации алюминия, состава шлака после выпуска, расхода ТШС. Таким образом, основной задачей ТШС является формирование жидкоподвижного, гамогенного синтетического ковшевого шлака. В конвертерном цехе ММКИ для наведения ковшевых шлаков применяется твердая шлакообразующая смесь (ТШС). Существует несколько видов ТШС - ТШС-2, ТШС-3Б, ТШС-4, ТШС-5, ТШС-6. Существенное увеличение затрат при использовании твердой шлакообразующей смеси марок ТШС-2, ТШС-3 "Б", ТШС-4 обусловлено тем, что они применяются при производстве стали низкосернистого сортамента (содержание серы в готовом металле не более 0,015%). Твердые шлакообразующие смеси марок ТШС-5 и ТШС-6 - при производстве стали рядового сортамента (содержание серы в готовом металле более 0,015%). Присадка твердой шлакообразующей смеси в конвертерном цехе ПАО ММКИ производится из бункера на сливе металла из конвертера. Эффективная работа ТШС обеспечивается путём выполнения следующих условий: отсечки первичного и конечного конвертерного шлака; подачи аргона в ковш через донные блоки с максимальным расходом до и во время отдачи ТШС; присадки 30% алюминий содержащих материалов во время отдачи ТШС.

Таким образом, в конвертерном цехе ММК им. Ильича процессы десульфурации, формирования жидкоподвижного, гамогенного синтетического шлака, рафинировочные процессы достигаются за счет применения твердой шлакообразующей смеси различных марок, в зависимости от сортамента, непосредственно на сливе металла из конвертера и при необходимости при внепечной обработке на комплексе доводки стали.

УДК 669.187.26.042

Е. А. Сергеева, Е. А. Дрей

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭШП СО ВСТРЕЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КРИСТАЛЛИЗАТОРА И ЭЛЕКТРОДА

Установка Р-951 была спроектирована и изготовлена в ИЭС им. Е.О. Патона и явилась базовой конструкцией для создания в нашей стране

ряда электрошлаковых печей. Десятки печей этого типа хорошо себя зарекомендовали на отечественных заводах и за рубежом [1].

Отличительной особенностью установки является то, что механизмы подачи электрода и подъема кристаллизатора монтируются на одной общей колонне, а извлечение слитка производится с помощью тележки поддона, выкатывающейся из-под печи по рельсам. Такое конструктивное решение позволяет максимально снизить высоту установки, унифицировать узлы тележек электрододержателя и кристаллизатора, их приводы. Возможность отказаться от заглубления ниже уровня пола цеха значительно упрощает монтаж и обслуживание печи.

Схема печи предусматривает реализацию ЭШП со встречным движением кристаллизатора и электрода. Однако в силу ряда причин первые модификации этой установки использовались для ведения процесса в неподвижном кристаллизаторе, установленном на тележке поддона. Механизм подъема кристаллизатора применялся лишь для раздевания слитка.

Печь Р-951 предназначена для ЭШП штанг диаметром 100 – 200 мм, длиной до 6 м в слитки диаметром до 425 мм, длиной до 120 мм и массой до 1,5 т. Система водоохлаждения автономная с отдельным центробежным насосом, создающим давление до 490 кН/м^2 и баком для охлаждения воды емкостью 6 м^3 . Расход воды до $25 \text{ м}^3/\text{ч}$ [2].

Установка также используется и для электрошлаковой отливки слитков (ЭШО). С этой целью на ряде заводов была произведена их реконструкция. Различают два варианта, в соответствии с которыми осуществляют отливку на установках Р-951. По первому из них печь снабжают новым кристаллизатором и промежуточным желобом для заливки на поверхность шлаковой ванны расплавленного металла. В электрододержателе крепят изготовленный из той же стали, что и разливаемая, расходуемый электрод, который по ходу процесса подогревает ванну шлака. Кристаллизатор устанавливают эксцентрично электроду. По второму варианту предварительно расплавленный металл заливается в кристаллизатор через отверстие полого нерасходуемого подогревающего электрода. Такой электрод представляет собой металлическую футерованную трубу с навинченным на ее нижний конец также полым графитовым наконечником. Диаметр отверстия около 200 мм.

В обоих случаях возможен как сухой, так и жидкий старт с заливкой предварительно расплавленного шлака через ту же приемную воронку, через

которую заливается металл. На подобных установках получают высококачественные слитки массой до 7 т и более. Хотя печь Р-951 выгодно отличалась от созданных ранее, не прошло и нескольких лет, как она была значительно модернизирована.

Список литературы

1. Патон, Б.Е. Электрошлаковая технология [Текст]: учеб./ Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, Г.А. Бойко – К.: Наукова думка, 1983. - 256с.
2. Латаш, Ю.В. Электрошлаковый переплав [Текст]: учеб./ Ю.В. Латаш, Б.И. Медовар – М., «Металлургия», 1970.

УДК 621.745.5

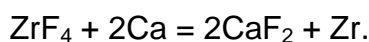
К. О. Сергеева, С. В. Гришко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Київ

ЭЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИЙ ПЕРЕПЛАВ ЦИРКОНІЄВИХ ЗАГОТОВОК

Традиційною технологією отримання зливків цирконію є двократний вакуумно-дуговий переплав вихідної шихти, що являє собою пресовані заготовки з отриманої магнійтермічним відновленням цирконієвої губки чи електролітичного порошку цирконію з додаванням йодидного цирконію.

З метою підвищення продуктивності переділу та зниження його собівартості були проведені дослідження [1] з електронно-променевого переплаву заготовок, отриманих методом кальційметричного відновлення тетрафториду цирконію металічним кальцієм за реакцією



Процес кальційметричного відновлення здійснювали в графітових тиглях в печах опору в атмосфері аргону та отримували компактні шихтові заготовки цирконію масою 40...100 кг кожна.

Дослідження мікроструктури литих шихтових заготовок показали, що їх структура має пластинчастий характер, тобто типова для цирконію в литому стані. Однак в ній маються ділянки з великою кількістю карбідів цирконію, що розміщений як в середині, так і по межах зерен, які, можливо, утворюються в

результаті взаємодії розплавленого цирконію при відновлювальній плавці з матеріалом тигля (графітом) [2].

Дослідження хімічного складу вихідного металу встановили, що в шихтових заготовках цирконію міститься значна кількість шкідливих домішок, таких як кисень, вуглець, азот, нікель, залізо, хром та кальцій. При дослідженні хімічного складу вихідних заготовок відновлювального цирконію по довжині та поперечному перерізу виявлена висока однорідність розподілення домішкових елементів по об'єму заготовок.

Аналіз хімічного складу заготовок вихідного цирконію у всіх відновлювальних плавках показав, що вихідний метал містить домішкові елементи наступних концентрацій: кисень 0,07...0,25 %; азот 0,003...0,008%; вуглець 0,015...0,04 %; залізо 0,015...0,08 %; алюміній 0,004...0,05 %; нікель 0,003...0,035 %; кремній 0,003...0,02 %; хром 0,001...0,04 %; кальцій – не більше 0,012 %; мідь 0,001...0,005 %; марганець 0,001...0,008 %; титан – не більше 0,003 %; бор 0,00001...0,0004 %.

Таблиця

Хімічний склад заготовок вихідного цирконію

Номер партії	Концентрація елементів, 10 ⁻³ % (мас.)												
	O	N	C	Ni	Fe	Si	Cr	Ca	Al	Cu	Mn	Ti	B
41	130	7	22	20	20	3	38	12	50	4	8	3	0,02
46	90	6	20	16	60	8	14	10	18	2	3	1	0,023
47	200	7	20	20	80	6	10	10	50	3	7	<1	0,019
48	100	6	16	5	27	3	1	<10	13	1	2	<1	0,011
50	140	6	20	3	15	20	5	<10	25	3	1.3	3	0,009
51	110	5	30	32	31	6	5	<10	14	4	4	3	0,016

Таким чином, наявність шлакових та карбідних включень, а також достатньо великої кількості домішкових елементів у вихідних заготовках цирконію обумовлюють необхідність використання електронно-променевої рафінуючої плавки.

Список літератури

1. *Мищенко В.П., Бурьянов В.П., Новиченко Л.Ф.* Совершенствование устройств управления электронным лучом в установках для плавки и испарения материалов // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1982. – Вып. 16. – С. 57-60.

2. Амоненко Б.М., Ажажа В.М., Вьюгов П.Н. и др. Очистка циркония методом зонной плавки // *Металлургия и металловедение чистых металлов*. М.: Атомиздат. Вып. 9. 1971. С. 20-24.

УДК 621.745.5

К. О. Сергеева, С. С. Золотухін

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Київ

ОТРИМАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ПЛАСКИХ ЗЛИВКІВ З ТИТАНУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ПЛАВКИ

В даний час технологія ЕПП є найбільш перспективним процесом отримання зливків титану. До її переваг слід віднести високу ефективність рафінування, обумовлену високим вакуумом в камері електронно-променевої установки. Вакуум також є чудовим захистом при плавці і обробці металів і сплавів.

Цей спосіб включає в себе плавлення заготовки електронним променем у проміжну ємність, накопичення розплаву в проміжній ємності і слив розплаву на піддон в кристалізатор зі зливками, торці яких обігривають електронним променем. При цьому в зазор між торцями зливків подають розплав металу необхідного хімічного складу, одночасно формуючи область розплавлення на торцях на рівні поверхні ванни рідкого металу і переміщують її в напрямку верхньої межі торцевій поверхні зливків. Таким чином, забезпечується отримання високоякісних великогабаритних плоских зливків великої маси з різних металів і сплавів методом електронно-променевої плавки.

Процес отримання зливків в електронно-променевих установках складається з наступних етапів. Заготовку заданого хімічного складу розміщують в камері заготовки. Зливки встановлюють горизонтально в прямокутний кристалізатор на піддон. При цьому дві протилежних стінки кристалізатора складають водоохолоджувані мідні паралелограми, зазор між якими дорівнює ширині зливка, а дві інших стінки - торці плоских зливків, які з'єднуються. Камеру вакуумують. Електронними гарматами здійснюють нагрів і

послідовне розплавлення торців зливків, які з'єднуються, в напрямку від піддону до верху зливків [1].

Одночасно іншими електронними гарматами здійснюють розплавлення заготовки над проміжною ємністю, накопичення розплавленого металу в проміжній ємності. Після утворення, за рахунок плавлення торців зливків, які з'єднуються, ванни рідкого металу в просторі, обмеженому піддоном, стінками кристалізатора і торцями зливків, заливають розплав з проміжної ємності. При цьому продовжують розплавляти торці зливків, які з'єднуються на рівні поверхні рідкої ванни для забезпечення якісного з'єднання зливків, і зливати рідкий метал з проміжної ємності. Після досягнення поверхнею рідкої ванни верхньої грані зливків злив металу з проміжної ємності припиняють, а потужність обігріву кристалізатора плавно зменшують до нуля. Після охолодження зливка до необхідної температури камеру розвакуумують і проводять вивантаження готового зливка.

Список літератури

1. Рафинирование титана в электронно-лучевых печах с промежуточной емкостью / Н.П. Тригуб, А.Я. Дереча, А.Н. Калинюк и др. // Пробл. спец, электрометаллургии. — 1998. — № 2. — С. 16—20.

УДК 669.046.516(043)

**Е. В. Синегин, Е. В. Скляр, Б. М. Бойченко, В. Г. Герасименко,
Л. С. Молчанов**

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНОКУЛЯТОРОВ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Вопреки существенным преимуществам процесса непрерывной разливки стали, показатели качества полученного металла лимитируются неизбежными природными процессами и явлениями, полное подавление которых является сложной, а порой и невозможной без отрицательного вмешательства в технологический процесс задачей. Среди этих факторов наиболее существенными являются процессы перераспределения примесей между

фазами кристаллизующегося слитка и процессы структурообразования. Внешнее влияние на эти процессы может приводить к ухудшению качества металла, уменьшению производительности процесса и повышению его энергоёмкости, а также нарушению условий формирования корки заготовки.

Авторами выполнено математическое моделирование теплофизических и физико-химических сторон процесса взаимодействия частичек порошкового инокулятора с металлическим расплавом в предкристаллизационный период. В качестве инокулятора использовали железный порошок с химическим и гранулометрическим составом согласно ГОСТ 9849-86 "Порошок железный".

Определено, что при вдувании в струе аргона наибольшую степень усвоения расплавом имеют порошки с высокой массовой долей крупных (не менее 200-500 мкм) фракций. Гарантированная степень усвоения крупнодисперсных порошков марок ПЖРЗ.450.26, ПЖРЗ.315.26 и ПЖВЗ.450.26 металлическим расплавом при рабочей интенсивности вдувания газа-носителя не менее 22 л/мин или его расходе 25,3 л/т стали достигает около 70% (рис. 1) и может быть увеличена отсеиванием мелких фракций (менее 140 мкм) с низкой кинетической энергией. Остальной порошок всплывает вместе с пузырьками в промежуточном ковше и кристаллизаторе МНЛЗ.

При помощи специально разработанного алгоритма выполнено математическое моделирование кинетики плавления порошка смешанного гранулометрического состава в кристаллизаторе МНЛЗ. Установлено, что наибольшее количество ($30-1100 \text{ см}^{-3}$) остаточных центров кристаллизации в расплаве наблюдается при использовании крупнодисперсных порошков. Из этого можно сделать вывод о сравнительно большей эффективности инспирации объёмной кристаллизации при использовании крупнодисперсного железного порошка марок ПЖРЗ.315.26, ПЖРЗ.450.26 и ПЖВЗ.450.26. Для проверки соответствия выполненного расчёта реальным условиям непрерывной разливки в программе MATLAB 7.0 осуществлено решение стационарной задачи теплопроводности для заготовки сечением 300×400 мм.

При использовании методов физического моделирования, исследована гидродинамика циркуляционных потоков металлической суспензии в кристаллизаторе МНЛЗ при вдувании газопорошковой струи. Экспериментально доказано, что вдувание газопорошковой струи в погружной стакан приводит к торможению потока металла и уменьшению глубины проникновения "горячей" струи жидкой стали в жидкую фазу заготовки, что улучшает условия

формирования корки в кристаллизаторе МНЛЗ. Методами математической статистики определены эмпирические зависимости торможения струи от параметров продувки:

$$W = \frac{w_{факт}}{w_{ном}} = 1 - \frac{H^2}{125} + \frac{H}{89,73}, \text{ при } I < 10^{-4}, (R^2 = 0,92) \quad (4)$$

$$W = \frac{w_{факт}}{w_{ном}} = \frac{0,04}{\sqrt{I} \cdot H^{1,36}}, \text{ при } I \geq 10^{-4}, (R^2 = 0,73) \quad (5)$$

где $w_{факт}$, $w_{ном}$ – фактическая среднерасходная скорость при продувке и номинальная скорость истечения без продувки, соответственно; $I = \frac{i_{en}}{\rho_m \cdot g \cdot h_p^3}$ –

безразмерный импульс газовой струи, характеризующий отношение импульса

газовой струи к гравитационным силам, действующим на жидкость; $H = \frac{h_p}{h_c}$ –

линейный симплекс, который характеризует отношение уровня жидкости в напорной ёмкости к высоте сопла над устьем погружного стакана; i_{en} – секундный импульс газопорошковой струи, Н; h_p , h_c – уровень жидкости в промковше и стопора над уровнем стакана дозатора, соответственно, м; ρ_m – плотность жидкого металла, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

УДК 669.162.267

Є. М. Сігарьов, К. І. Чубін, І. В. Кривцун

Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ

КОВШОВЕ КОМПЛЕКСНЕ РАФІНУВАННЯ РОЗПЛАВУ У КОВШІ З ОБЕРТОВОЮ ФУРМОЮ

Авторами роботи запропоновано теоретичне обґрунтування та проведене лабораторне випробування ресурсоефективної технології комплексного ковшового рафінування переробного чавуну перед конвертерною плавкою.

При виплавці в Україні, у відповідності із наявною сировиною базою, переробних чавунів, що містять 0,60-1,40 % Si, 0,08-0,39 % Mn, 0,022-0,085 % S, 0,045-0,095 % P, актуальною є технології попередньої обробки чавуну у ковші з постадійним видаленням сірки, кремнію і фосфору, яка дозволить у залежності

від конкретних умов роботи металургійних підприємств і сортаменту металопродукції, забезпечити: підвищення якості і здешевлення виробництва переробного чавуну; виплавку в конвертерах за малошлаковою технологією більш дешевої високоякісної сталі та оптимальні умови підготовки та використання кінцевого конвертерного шлаку для нанесення на футерівку з метою створення захисного гарнісажного покриття.

Згідно з розробленою схемою попереднього рафінування передбачено видалення сірки з переробного чавуну (до 0,005-0,010%), частки кремнію і зниження вмісту фосфору з врахуванням сировинних умов металургійних підприємств України. Для реалізації пропозицій пропонується використання модернізованої установки обробки розплаву в заливальному ковші, яка включає спеціальну конструкцію обертової заглибної фурми із системою підведення до неї технологічних газів і порошкоподібних десульфураторів і дефосфораторів.

На першому етапі досліджень виконано:

- теоретичне і експериментальне обґрунтування способу попередньої глибокої десульфурації чавуну із забезпеченням вмісту сірки $\leq 0,005$ % шляхом вдування углиб розплаву в потоці азоту диспергованого магнію з підвищеною до 0,20-0,25 кг/(т·хвил) інтенсивністю через заглибну обертову фурму;
- теоретичне і експериментальне обґрунтування способу одночасного зменшення вмісту кремнію до 0,20-0,25 % і фосфору до 0,008-0,010 % шляхом продувки попередньо знесірченого чавуну через заглибну обертову фурму кисневими струменями з добавкою суміші дефосфораторів на основі відходів суміжних галузей промисловості.

На наступному етапі досліджень за результатами експериментів, проведених на 160-кг установці для ковшового рафінування, визначений раціональний дуттьовий режим обробки чавуну з точки зору забезпечення спокійного ходу рафінування розплаву та скорочення тривалості операції.

У набивних тиглях установки розплавляли 100-140 кг переробного чавуну, що містив 4,1-4,2% С, 0,04-0,14% Mn, 0,60-0,92% Si, 0,026-0,088% S і 0,047-0,085% P, із забезпеченням температури розплаву чавуну перед обробкою у межах 1305-1410°C. Після видалення первинного покривного шлаку і, при необхідності, у окремій серії експериментів формуванні на поверхні нового основного шлаку, приступали до обробки чавуну за експериментальними схемами. Швидкість обертання заглибних фурм змінювали у межах від 20 до 180 об/хв.

По ходу вдування реагентів та їх сумішей у потоці нейтральних та окислювальних струменів у розплав чавуну із інтервалом у 2-4 хвил. відбирали проби металу для проведення у подальшому хімічного аналізу. Хімічному аналізу піддавалися також проби покривного шлаку, відібрані перед початком і після закінчення обробки чавуну. З метою створення східної із виробничими умовами динаміки зміни температури чавуну у ході обробки підтримували індукційний нагрів розплав з подаванням на індуктор 25-35% від номінальної потужності.

Протягом всієї продувки розплав здійснювали вловлювання тканинним фільтром пилу, що виділявся з ванни для наступного хімічного на гранулометричного аналізу. Для з'ясування впливу складу газової фази над поверхнею ванни на показники рафінування розплав створювали контрольовану газову атмосферу під спеціальною кришкою, що накривала тигель індукційної печі установки. Макрокартину фізичних явищ на поверхні розплав, що супроводжували процес вдування у чавун реагентів, фіксували високошвидкісною (300 кадр/сек) відеозйомкою.

На основі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено фізико-хімічну модель комплексного рафінування переробного чавуну у ковші з видаленням сірки, кремнію та фосфору шляхом вдування сумішей реагентів через заглибну обертову фурму.

УДК 669.162.266

А. В. Сова, В. В. Бочка, А. В. Двоєглазова, С. Е. Суліменко, А. Д. Ніколенко

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ВДОСОКНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ БАРАБАНУ-СТАБІЛІЗАТОРА

Сучасні методи обробки агломерату, які включають в себе багаторазове дроблення та відсів дрібної фракції, не дозволяють отримати високоякісний агломерат, з мінімальним вмістом дрібної фракції (менше 5 мм), який відповідає вимогам доменної плавки.

Враховуючи вищесказане, досить доцільною є технологія отримання стабілізованого агломерату, з використанням барабану-стабілізатора. Як

показали дослідження, основним недоліком цього пристрою являється неконтрольоване завантаження матеріалу в барабан і можливість переподрібнення агломерату після завантаження крупних шматків агломерату на початковій стадії виділення неруйнівних блоків агломерату.

Цього можливо уникнути, руйнуючи крупну фракцію більше 50 мм до потрапляння в барабан-стабілізатор, що позитивно впливає на обробку та виходу придатного до доменної плавки агломерату, при цьому – зменшуючи час обробки.

Поставлене завдання вирішується тим, що в барабані-стабілізаторі із завантажувальним пристроєм, що виконаний у вигляді прямокутного жолобу з відкритим верхом, бокових вертикальних броньованих стінок і днища у вигляді стаціонарного грохоту, який відрізняється тим, що на верхніх кромках бокових вертикальних броньованих стінок закріплені поперечні осі на відстані одна від одної, рівній висоті стінок, на яких в шаховому порядку вільно підвішені трикутного перетину біли, що вершинами своїх граней направлені назустріч руху агломерату, при цьому проміжок між білами в одному ряді дорівнює максимальному розміру шматка агломерату, що транспортується.

Таким чином, нами був отриманий Патент України на корисну модель барабану-стабілізатора із завантажувальним пристроєм, котрий дозволяє на ділянці транспортування використовувати принцип розколення для руйнування крупних шматків агломерату, з виділенням неруйнівних блоків в інтервалі 3-30 мм. Це дозволяє покращити техніко-економічні показники доменних печей.

УДК 669.184

А. Н. Стоянов, К. Г. Низяев, Л. С. Молчанов, Е. В. Синегин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЯ РАФИНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ САМОПЛАВКИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Современный период развития машиностроительного комплекса характеризуется все возрастающими потребностями к технологическим и служебным свойствам металлоизделий. Перспективным направлением

улучшения качества металла является снижение содержания вредных примесей путем внеагрегатной обработки высокоактивными реагентами.

В работе выполнены исследования рафинирующей способности самоплавких шлаковых смесей различных составов для внепечной обработки металла.

С целью определения рафинирующих свойств шлаковых смесей выполнены расчетно-аналитические исследования сульфидной емкости и десульфуризирующей способности самоплавких шлаковых смесей систем: $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$; $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaF}_2$; $\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$ и др.

Анализ проводился с использованием современных методов исследований, основанных на расчетах сульфидных ёмкостей шлаковых расплавов по величине их оптической основности.

Расчетно-аналитические исследования показали, что максимальной десульфуризирующей способностью обладают шлаковые смеси с наибольшим содержанием компонентов, имеющих высокую оптическую основность: CaO , Na_2O ($\Lambda_{\text{CaO}}=1$, $\Lambda_{\text{Na}_2\text{O}}=1,4$ и др.). На основе этого были определены перспективные составы плавящих шлакообразующих смесей для внепечного рафинирования стали.

На рис. представлена зависимость теоретического коэффициента распределения серы от оптической основности шлака.

С целью определения степени соответствия расчетных коэффициентов распределения серы и реально имеющих место на практике был выполнен комплекс лабораторных экспериментов по десульфурации стали разработанными шлаковыми смесями.

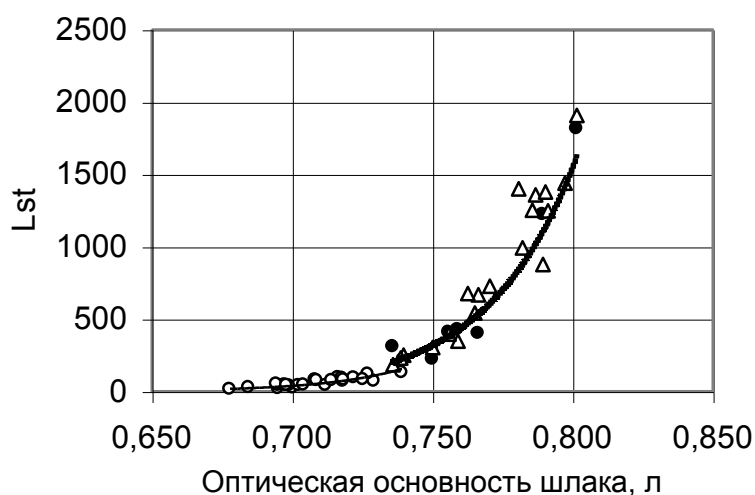


Рис. Влияние оптической основности шлака на коэффициент распределения серы

Самоплавкие шлаковые смеси в лабораторных условиях получали из исходных шихтовых материалов, применяемых на металлургических предприятиях: металлургической извести, плавикового шпата, флюоритового концентрата, известково-глиноземистого и известково-силикатного синтетических шлаков и др., а также из чистых химических веществ (CaO , CaF_2 , Al_2O_3 и др.).

В качестве рафинирующих смесей испытаны сплавленные смеси на основе извести, соотношения компонентов сплавленных смесей и их расходы представлены в табл.1.

Таблица 1

Показатели процесса рафинирования металла сплавленными смесями

Компоненты смеси, их соотношение, %	Расход реагента, % от массы металла	Степень десульфурации, %
CaO-CaF_2 70-30 80-20	1,2 1,2	60-65 65-70
$\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 70-20-10	1,5	55-60
$\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ 70-10-10-10	1,5	50-55
$\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ 75-10-5-10	1,5	70-75
$\text{CaO- Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 80-15-5	1,5	75-80
$\text{CaO-Na}_3\text{AlF}_6$ 80-20	1,5	60-50

Ввод натрия и калий-содержащих компонентов производили путем применения нефелинового концентрата или нефелин-полевошпатового продукта обогащения полиметаллических руд (однако последний содержит повышенное содержание кремнезёма, что несколько ухудшает показатели процесса). В качестве глинозёмсодержащих материалов использовали глинозёмистый продукт или известково-глинозёмистый спек производства Николаевского глинозёмного комбината.

Данные лабораторных исследований сопоставлены с расчетами на основе сульфидной ёмкости шлакового расплава и в целом подтвердили результаты расчетно-аналитических исследований. Высокая степень использования рафинировочных свойств самоплавких смесей обеспечивается

за счет быстрого формирования высокоактивного шлака, при этом степень приближения системы к равновесию увеличивается в 1,3-1,5 раз в равнении с использованием кусковых реагентов.

УДК 669.184

А. Н. Стоянов¹, К. Г. Низяев¹, А. А. Салей², Л. С. Молчанов¹, Е. В. Синегин¹

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

²ГВУЗ Украинский государственный химико-технологический технологический университет, г. Днепропетровск

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ДЕСИЛИКОНИЗАЦИИ ЧУГУНА

Для реализации малошлаковых технологий в условиях конвертерных цехов необходимо обеспечить заданный и стабильный химический состав жидкого чугуна, прежде всего по содержанию кремния, путем его внедоменной обработки.

Применение инъекционных технологий для внедоменной обработки, обеспечивает возможность максимально использовать рафинирующие свойства используемых реагентов. Следует отметить, что использование кислорода в качестве газа-носителя обеспечивает минимизацию тепловых потерь в ходе инъекции твердых окислителей их минимальный расход, а также рост температуры расплава.

Полученные данные об изменении температуры чугуна за время инъекции, показывают на существенное увеличение приходной части теплового баланса десиликонизации при использовании в качестве газа-носителя кислорода, что может привести к развитию процессов окисления углерода [1,2] по реакции:



что в последующем может привести к ухудшению теплового баланса конвертерной плавки [2].

Известно, что на развитие реакции окисления углерода в ходе внедоменной обработки чугуна при вводе окислителей в глубинные объемы

металла существенно влияет парциальное давление продукта реакции (1) – оксида углерода и температура обработки.

В связи с этим, представляет как практический, так и научный интерес, определения граничной (минимальной) глубины инъекции материалов окислителей и определения температурного диапазона, при которых будут, создаются термодинамические условия для преимущественного развития процессов десиликонизации по реакции (2), а не обезуглероживания.



На рис. 1,2 приведены граничные значения расчетной глубины инъекции окислителей и температурные диапазоны, при которых создаются термодинамические условия - именно процесса десиликонизации чугуна.

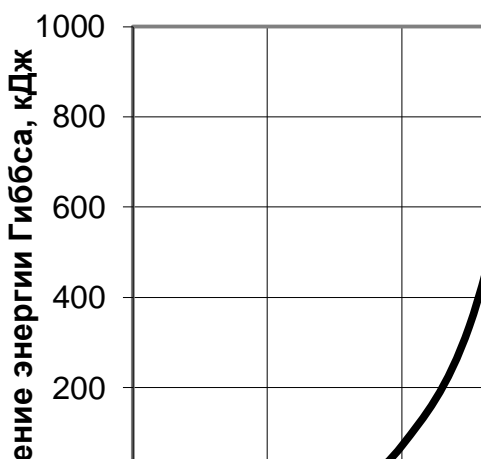


Рис. 1. Влияние глубины инъекции окислителей на изменение энергии Гиббса реакции обезуглероживания чугуна при температуре 1350 °С

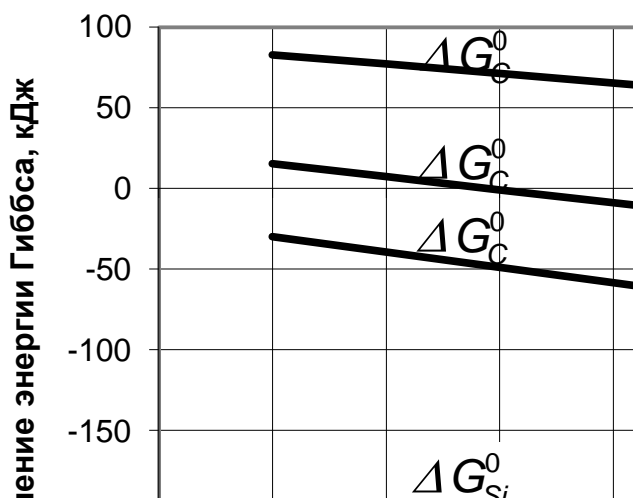


Рис. 2. Влияние температуры расплава на изменение энергии Гиббса для реакций обезуглероживания ΔG_C^0 и десиликонизации ΔG_{Si}^0 (цифры у кривых – глубина инъекции, м)

Результатами расчетов установлено, что граничной глубиной ввода окислителей для десиликонизации чугуна, составляет 1,75 м, что с точки зрения термодинамики процесса исключает возможность окисление углерода. Полученные данные о влиянии температуры расплава на изменение энергии Гиббса (рис. 2) показывают, что в граничном диапазоне глубин инъекции материалов 1,5-2 м. температура не существенно влияет на прохождение реакции обезуглероживания чугуна, при этом прохождение реакции

десиликонизации чугуна наблюдается во всем исследуемом температурном диапазоне.

Список литературы

1. *Меджибожский М.Я.* Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов: Учеб. пособие для вузов. – Киев – Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 280 с.
2. *Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С.* Конвертерное производство стали. – Днепропетровск: РИА «Дніпро-ВАЛ», 2006. – 454 с.

УДК 669.184

А. Н. Стоянов¹, К. Г. Низяев¹, А. А. Салей², Е. В. Синегин¹, Л. С. Молчанов¹

¹Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

²ГВУЗ Украинский государственный химико-технологический технологический университет, г. Днепропетровск

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОРАЦИИ ЧУГУНА

В последнее время широкое развитие получают процессы дефосфорации чугуна. С одной стороны, это вызвано растущей потребностью рынка в низкофосфористых сталях, с другой – развитием малошлаковых технологий конвертерного передела, преимущества которых неоспоримы.

В данной работе выполнен анализ прироста энергоемкости стали при внедоменной инжекционной обработки чугуна по разработанной программе.

Моделирование процесса дефосфорации проводили с учетом предварительного обескремнивания чугуна, а исходные данные приведены в табл.

Таблица

Исходные данные для моделирования

$[\text{Si}]^{\text{нач}}$, %	$[\text{P}]^{\text{нач}}$, %	$[\text{P}]^{\text{кон}}$, %	$T_{\text{чуг}}$, °C	Расход газа-носителя, м ³ /мин
0,2	0,1	0,01	1350	0,6-1,0

Результаты моделирования процесса дефосфорации чугуна при использовании порошковых твердых окислителей приведены на рис.

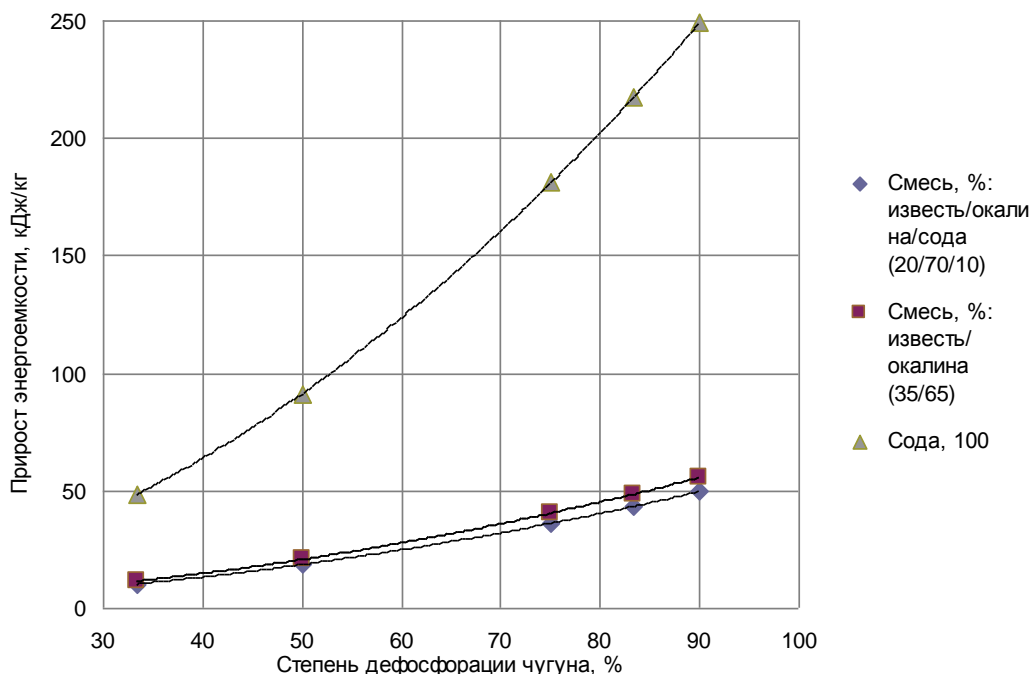


Рис. Влияние степени дефосфорации чугуна на прирост его энергоемкости

По результатам моделирования определено, что наиболее низкоэнергоемкой технологией, является технология инъекции смесей на основе окалины. Использование соды в чистом виде, при меньших расхода материала 15 кг/т против окалины 20-22 кг/т не целесообразно с точки зрения энергоэффективности процесса, однако следует учитывать при выборе состава дефосфоратора и конъюнктуре цен на рынке металлургических материалов. Также установлено, что в ходе обработки происходит снижение температуры металла: при использовании газа-носителя воздуха 10-15 °С.

УДК 662.642

Ю. А. Ступак

Национальная металлургическая академия Украины, Институт интегрированных форм обучения, Днепропетровск

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ УКРАИНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

По данным, приведенным в [1], подтвержденные запасы угля в Украине составляют 56,2 млрд. т, из которых на долю Донецкого бассейна приходится

более 93% (Львовско-Волинский – около 4,5%, Днепровский \approx 2%). По тем же данным доля углей низких стадий метаморфизма (Д, ДГ, Г) составляет около 62%, еще около 6% (2593,3 млн. т) составляют запасы бурых углей. В соответствии со стандартом [2] к таким углям относят угли с $R_o < 0,40\%$, $V_{daf} = 50-70\%$, $Q_t < 24$ МДж/кг. Основные запасы бурых углей сосредоточены преимущественно в двух областях – Днепропетровской (21 месторождение, разведанные запасы 1578,7 млн. т) и Кировоградской (42 месторождения, разведанные запасы 801,3 млн. т) [3]. Низкая энергетическая ценность и ряд проблем, связанных с добычей и применением этих углей, делают их малопривлекательными для использования в энергетике и металлургии (примерно с середины 90-х их добыча в Украине практически прекращена). В последние годы предпринимаются попытки возродить добычу и переработку бурых углей украинских месторождений и даже их экспорта за рубеж [4], однако ситуация в буроугольной отрасли, не смотря на ряд предложений от иностранных компаний - потенциальных инвесторов оставляет желать лучшего [5].

Ситуация, складывающаяся в украинской энергетике и металлургии в связи с диверсификацией поставок природного газа, энергетических и коксующихся углей, в т.ч. для нужд коксохимической и ферросплавной отраслей [6], вынуждает к поиску альтернативных видов твердого и газообразного топлива. Таким топливом, по мнению автора, может быть бурый уголь украинских месторождений, не смотря на его «врожденные» недостатки, частично отмеченные выше.

Многочисленные исследования показали, что наиболее перспективным направлением энерготехнологической переработки и использования бурых углей может быть брикетирование бурого угля и получение буроугольного полукокса [7, 8 и др.]. При такой переработке может быть получен продукт, пригодный для частичной или полной замены топлива при агломерации, в ферросплавном производстве (в виде брикетов), доменном производстве (в качестве пылеугольного топлива или компонента в смеси с ним) и бескоксовой металлургии (процессы прямого получения железа).

По данным исследований отличительными особенностями буроугольного полукокса являются высокая реакционная способность, низкий выход летучих и высокое содержание углерода (на уровне его содержания в коксовой мелочи, используемой в процессах агломерации). Учитывая накопленный мировой опыт, использование бурых углей и продуктов их переработки в металлургии можно рассматривать как перспективное направление ресурсосбережения в металлургии

с достаточно высоким инвестиционным потенциалом и потенциальной экономической эффективностью (при сложившейся в Украине конъюнктуре цен на качественные угли, кокс и энергоносители).

Список литературы

1. Дроздник И. Д., Старовойт А. Г., Гусак В.Г. и др. Угли для коксования и пылеугольного топлива / Под ред. Васильева Ю.С. – Харьков: ИПЦ «Контраст», 2011. – 188 с.
2. Державний стандарт України ДСТУ 3472-96 Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація. –К.: Держстандарт України, 1997.
3. Свободная шахтёрская энциклопедия «MiningWiki»: http://miningwiki.ru/wiki/Угольная_промышленность_Украины. Дата обращения – 04.05.2015.
4. Сайт Энергетической инвестиционной компании: <http://eic.in.ua/>. Дата обращения – 05.04.2016.
5. Мельник П. Операция «Ликвидация», или Регион хочет, но не может / Газета «Голос Украины». - №230 (6234) от 05.12.2015.
6. Старовойт А. Г. Формирование угольной сырьевой базы коксохимических предприятий Украины // Сучасна металургія: проблеми, задачі, рішення. Наука і виробництво. Міжнародна конференція 28-29 квітня 2015 р., Дніпропетровськ, Україна: матеріали / уклад.: В.П. Іващенко, Ю.О. Ступак. – Дніпропетровськ: Герда, 2015. – С. 146 – 151.
7. Исламов С. Р. Энергоэффективное использование бурых углей на основе концепции «ТЕРМОКОКС»: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Красноярск, 2010. – 37 с.
8. Аникин А. Е., Галевский Г. В. Буроугольный полукокс Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна: производство, свойства, применение // Вестник СибГИУ. – № 3 (9). – 2014. – С. 52-59.

Д. Н. Тогобицкая, И. Р. Снигура

Институт черной металлургии НАНУ им. З. И. Некрасова, г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ЛИКВИДУС И СОЛИДУС ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Широкое применение в энергетической отрасли и производстве газотурбинной техники, сложнелегированных жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС), инициирует исследования их физико-химических свойств, которые лимитируются эксплуатационными возможностями. Физико-химические, механические, эксплуатационные свойства могут быть спрогнозированы путем математического моделирования неразрывной цепи «состав–структура–свойства» с учетом параметров межатомного взаимодействия [1].

В настоящей работе исследована взаимосвязь t_L и t_S для 12 составов жаропрочных никелевых сплавов с параметрами межатомного взаимодействия, что позволило установить наиболее информативные их параметры, такие как направленная зарядовая плотность общей системы соответствующего сплава ($\rho_{\text{общ}}$) и $\text{tg}\alpha_\gamma$ – средневзвешенный параметр констант легирующей подсистемы γ -упрочнителей твердого раствора (Mo, W, Re, Ta), характеризующий изменение радиуса иона при изменении его заряда. При таком подходе к моделированию температур t_L и t_S , они описываются уравнением: $t_L, t_S = f(\rho_{\text{общ}}, \text{tg}\alpha_\gamma)$, $R^2 \geq 0.9$.

Важность учета вклада суммарного количества легирующих γ -упрочнителей твердого раствора отмечали авторы работы [2] ($t_L, t_S = f(\Sigma\gamma)$), однако при таком подходе, не учитывается доля влияния каждого из легирующих элементов и их химическая индивидуальность. Разработанная и предлагаемая авторами работы [2] модели для прогнозирования t_L и t_S расплавов были дополнительно проэкзаменованы на независимых данных, результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные прогнозных моделей для t_L и t_S жаропрочных никелевых сплавов, не вошедших в исходную выборку

Марка сплава	$t_{L\text{эксп}}$ °C	$t_{S\text{эксп}}$ °C	По модели авторов работы [2] t_L и $t_S = f(\Sigma\gamma)$		По разработанной модели на основе концепции направленной химической связи Приходько Э.В. [1] t_L и $t_S = f(\rho_{\text{общ}}, \text{tg}\alpha_\gamma)$	
			$t_{L\text{расч}}$ °C	$t_{S\text{расч}}$ °C	$t_{L\text{расч}}$ °C	$t_{S\text{расч}}$ °C
PWA – 1426	1381	1342	1393.69	1323.085	1402.265	1342.318
RENE – 142	1376	1338	1395.911	1326.598	1401.929	1341.688
PWA – 1484	1403	1350	1418.674	1362.603	1403.161	1343.998
RENE – N4	1341	1271	1375.924	1294.983	1363.616	1295.392
Ошибка прогноза (%)			1.52	1.27	1.28	0.66

Как следует из сопоставительного анализа, экспериментальные и расчетные значения хорошо согласуются между собой для обеих моделей и отличаются высокой точностью. Однако сочетание параметров $\rho_{\text{общ}}$ и $\text{tg}\alpha_\gamma$ можно рассматривать в качестве более полного описания структурных превращений, поскольку учитываются параметры как общего состава марки сплава так и подсистемы легирующих упрочнителей γ -твердого раствора.

Дальнейшее пополнение базы экспериментальных данных о физико-химических и механических свойствах металлических расплавов банка данных «Металлургия» позволит усовершенствовать прогнозные модели и оптимизировать температурные условия технологических процессов для получения качественной металлопродукции с улучшенными структурными характеристиками.

Список литературы:

1. Приходько Э.В. Эффективность комплексного легирования сталей и сплавов. – К.: Наукова думка, 1995. – 292с.
2. Гайдук С.В., Кононов В.В., Куренкова В.В. Получение прогнозирующих математических моделей для расчета термодинамических параметров литейных жаропрочных никелевых сплавов// СЭМ.-2015. - № 5. – С. 31-37.

Н. А. Цюпа, Д. Н. Тогобицкая, Д. А. Степаненко

Институт черной металлургии НАНУ им. З. И. Некрасова, г. Днепропетровск

ПРОБЛЕМА «ЩЕЛОЧНОЙ АГРЕССИИ» В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЭВАКУАЦИИ K_2O и Na_2O СО ШЛАКОМ

Нерегламентированное поступление щелочных металлов в доменные печи, связанное с использованием в составе доменной шихты вторичных материалов различных металлургических переделов, создает проблему «щелочной агрессии», которая не позволяет оперативно изменять режим доменной плавки во избежание потерь производства и перерасхода кокса.

Характер поведения щелочных соединений в доменной печи во многом, если не в основном, определяется ее тепловым состоянием. Сравнительно низкие температуры кипения и парообразования щелочных соединений ($700—1200^{\circ}C$) обуславливают их высокую активность в ходе доменной плавки. С другой стороны, активизировать процесс удаления щелочей со шлаком можно за счет снижения их газификации в горне доменной печи. Добиваются этого снижением физического и химического нагрева горна. Многие исследователи, в частности А. Д. Готлиб, С. Л. Ярошевский отмечают, что химический состав и температура чугуна и шлака на выпуске являются комплексными показателями нагрева горна доменной печи, отражающие тепловой режим печи за определенный промежуток времени.

Оперативный технологический контроль за работой доменной печи может быть существенно улучшен при использовании температуры продуктов плавки (температуры чугуна и шлака) на выпуске в качестве прямого и количественного показателя нагрева горна доменной печи. В этой связи наиболее информативными будут показатели, характеризующие теплофизические свойства шлакового расплава на выпуске – энтальпия и удельная теплоемкость, которые зависят от химического состава шлака и температуры его расплава.

На основе экспериментальных данных удельной теплоемкости и энтальпии доменных шлаков установлена связь удельной теплоемкости (C_p) и энтальпии (ΔH) доменных шлаков с их химическим составом, выраженным через физико-химический параметр Δ_e – химическая активность шлакового

расплава (химический эквивалент) с учетом температуры шлакового расплава ($R^2=0,9$): $(\Delta H, C_p) = f(\Delta e, T)$. Полученные уравнения позволяют определить количество тепловой энергии шлакового расплава на выпуске из доменной печи при заданном его составе и температуре. Предложенные модели для определения удельной теплоемкости и энтальпии шлакового расплава включены в состав системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки «Шлак» [1].

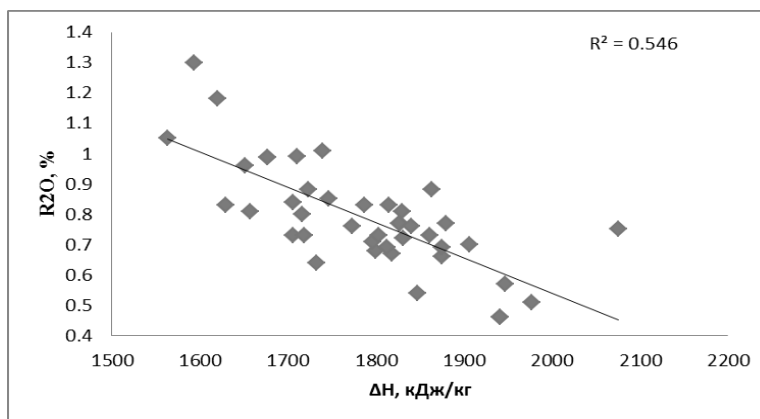


Рисунок. Связь содержания оксидов щелочных металлов (R_2O) в шлаке с энтальпией их расплавов (ΔH) при температуре $1500^\circ C$.

При выдаче рекомендаций для повышения щелочной емкости шлакового расплава система «Шлак» основывается на результатах оценки щелочной емкости шлакового расплава [2] и установленной зависимости содержания щелочей в доменном шлаке и энтальпии их расплавов при температуре $1500^\circ C$. Установленная на рисунке связь соответствует общепринятым представлениям о влиянии роли шлакового расплава, а именно его химического состава и температуры, определяющих его теплофизические свойства на процесс удаления щелочей из доменной печи.

Список литературы

1. *Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Степаненко Д.А., Гринько А.Ю., Циватая Н.А., Скачко А.С.* Интеллектуальная система принятия решений в задачах выбора рационального состава доменной шихты // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – 2014.-№28 – С.81-93.
2. *Циватая Н.А., Тогобицкая Д.Н.* Оценка щелочной емкости доменного шлака // *Материалы IV МНПК «Инновации в металлведении и металлургии» - Екатеринбург, 2014.* – С.251-254.

УДК 669.162.212:662.6/9

**А. Л. Чайка¹, К. С. Цюпа¹, А. А. Сохацкий¹, Б. В. Корнилов¹, В. Ю. Шостак¹,
С.В. Гоман², А.П. Фоменко²**

¹Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,
г. Днепропетровск

²ПАО «Запорожсталь», г. Запорожсталь

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ФУТЕРОВКИ И СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ШАХТЫ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПАО «ЗАПОРОЖСТАЛЬ» НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Применение технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) в доменном производстве Украины привело к уменьшению ресурса работы футеровки и систем охлаждения доменных печей (ДП) [1]. Это требует пересмотра имеющихся и научного обоснования новых решений в области конструкции системы охлаждения, холодильников и профиля печи, автоматизированных средств контроля тепловой и газодинамической работы печи, переходящей на технологию работы с ПУТ.

Для контроля тепловой работы, разгара футеровки и профиля шахты на ДП №2 и ДП №4 ПАО «Запорожсталь» реализован комплекс мер, который включает в себя системы непрерывного автоматизированного контроля тепловой работы и разгара футеровки САК «Шахта», внешних тепловых потерь в системе охлаждения печи и методику инструментального мониторинга температуры кожуха [2, 3].

Анализ информации от систем автоматизированного контроля и инструментального мониторинга за техническим состоянием печей позволяет:

- сравнить и обоснованно выбрать рациональную конструкцию системы охлаждения и материалы огнеупоров для увеличения ресурса работы доменной печи;

- разработать рекомендации и мероприятия для увеличения ресурса работающих печей путем выбора рациональных режимов загрузки и распределения газового потока, параметров и состава дутья, расхода ПУТ, своевременного проведения капитального ремонта печи и закачки бетона в пространство между кожухом и холодильными плитами, изменений в режиме работы системы охлаждения [4].

По результатам работы системы автоматизированного контроля комбинированная футеровка из огнеупорного кирпича ДП №2, в сравнении с футеровкой из торкретбетона ДП №4, обладает лучшими показателями ресурса работы на нижних горизонтах шахты, и ее применение улучшает показатели доменной плавки в условиях применения ПУТ.

Исследования показали, что торкретбетон целесообразно применять только в качестве профилактических мер по восстановлению футеровки печи на капитальном ремонте без выгребки материала из горна или при остановке на ППР, когда нет возможности выполнить огнеупорную кладку. В этих случаях торкретбетон позволяет увеличить ресурс работы шахты и уменьшает тепловые потери в системе охлаждения [5].

Список литературы

1. В.И. Большаков, А.Л. Чайка, В.В. Лебедь, А.А. Сохацкий, К.С. Цюпа, Б.В. Корнилов / Системная надежность доменного производства с использованием пылеугольного топлива // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2015, №7, С. 22-30

2. В.И. Большаков, А.Л. Чайка, А.А. Сохацкий, К.С. Цюпа, С.В. Гоман, А.П. Фоменко, Д.В. Пинчук / Перспективы развития средств автоматизированного контроля для обеспечения надежности и экономичности доменной плавки на основании информации о тепловой работе шахты // Сб. научных трудов IV межотраслевой научно-практической конференции «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды» – Харьков, 25-26 марта, 2015 г., С. 51-58

3. Чайка А.Л. / Контроль состояния ограждения доменных печей с использованием термограмм // *Металлургическая и горнорудная промышленность* №4, - 2008, С.109-111.

4. К.С. Цюпа / Практическое приложение систем автоматизированного контроля тепловой работы и разгара футеровки доменных печей ПАО «Запорожсталь» при применении ПУТ // 42-я международная научно-техническая конференция молодежи ОАО «Запорожсталь», 26-27 ноября 2015 г., С. 13

5. Влияние режима работы доменной печи №4 ПАО «Запорожсталь» с применением пылеугольного топлива на разгар футеровки и тепловую работу периферийной зоны / А.Л. Чайка, В.В. Лебедь, А.А. Сохацкий, К.С. Цюпа, С.В. Гоман, А.П. Фоменко / *Экология и промышленность*, 2015 г.

Ю. В. Шишко, Ю. М. Лугова

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА
ІНТЕНСИВНІСТЬ УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПРИ СУМІСНОМУ
ВИКОРИСТАННЯ ВУГІЛЛЯ ТА БІОМАСИ**

Вичерпання сировинної бази викопних палив, а також, тенденції до інтенсифікації процесів енергоспоживання, стали причиною пошуку нових альтернативних джерел енергії та способів підвищення ефективності їх використання. Одним з перспективних напрямів є часткова заміна викопних палив біомасою. Крім вирішення економічних завдань енергетики сумісна термічна переробка біомаси та бурого вугілля справляє позитивний екологічний ефект. При використанні паливної суміші з вугілля та біомаси спостерігається істотне скорочення емісії парникового газу, оксидів сірки та азоту в навколишнє середовище.

В роботі було проведено розгляд методів і технологій спільної термічної переробки біомаси та вугілля з точки зору нейтралізації викидів токсичних і забруднюючих речовин, що утворюються при даних процесах. Для ефективного використання біомаси доцільно комбінувати її з бурим вугіллям марки Б1, так як вони являються близькими за своїми енергетичними характеристиками, що спрощує вибір технічних рішень при сумісній термічній переробці.

Для визначення впливу режимних параметрів спільної термічної обробки бурого вугілля та біомаси на ефективність процесів була проведена низка розрахункових досліджень, метою яких було виявлення ступеня впливу визначальних факторів на інтенсивність утворення забруднюючих і токсичних речовин. У ході розрахунку варіювали наступними режимними параметрами: коефіцієнтом витрати повітря, локальними температурами в камері згоряння, рівнем концентрації кисню, температурою повітря на вході в камеру згоряння, часткою рециркуляції димових газів в зону горіння, температурою димових газів на виході з котлоагрегатів. Розрахунки були проведені, приймаючи до уваги специфічні властивості і характеристики вихідних ресурсів.

За даними розрахунків, враховуючи рекомендації щодо ведення процесів, були отриманні такі значення масових викидів речовин при спалюванні

генераторного газу: оксиди азоту при спалюванні у парогенераторах – 0,635 м³/с, водогрійних котлоагрегатах – 0,682 м³/с, бенз(а)пірен при спалюванні у парогенераторах – 2,586· 10⁻⁷ м³/с, водогрійних котлоагрегатах – 1,764· 10⁻⁷ м³/с, викид оксидів сірки при спалюванні генераторного газу за результатами розрахунків відсутній. При спалюванні твердопаливної суміші масові викиди речовин склали: оксиди азоту при спалюванні у парогенераторах – 5,083 г/с, водогрійних котлоагрегатах – 3,172 г/с, бенз(а)пірен при спалюванні у парогенераторах – 1,64· 10⁻⁴ г/с, водогрійних котлоагрегатах – 1,12· 10⁻⁴ г/с, викид оксидів сірки при спалюванні у парогенераторах – 0,0022 г/с, водогрійних котлоагрегатах – 0,0015 г/с. Таким чином, для забезпечення екологічної безпеки спалювання генераторних газів та твердопаливної суміші необхідна остаточна деструкція токсикантів і забруднюючих речовин, яка може досягатися тепловим впливом на відпрацьовані гази чи попередньою обробкою генераторних газів розчином у вигляді аерозолі вапна і лугів.

Отримані результати дослідження дають змогу спрогнозувати розрахунковим шляхом значення масових викидів забруднюючих та токсичних речовин при наявності технологічних характеристик котлоагрегатів та елементного складу палива, виявити методи впливу на активність утворення забруднювачів і оцінити їх доцільність з точки зору економічних показників.

Список літератури

1. Лунаева О.В., Горда В.И., Матлак Е.С. Основы практической теории предотвращения образования токсичных продуктов при термической утилизации твердых бытовых отходов // Наук. Пр. Донецк. нац. техн. ун-та. сер. Хімія і хімічна технологія. – 2005. – Т.174, вип. 95. – с. 117–123.
2. Рыжков С.С., Маркина Л.Н., Рудюк Н.В., Ощип О.П. Анализ процессов деструкции диоксинов и тяжелых углеводородов при многоконтурном циркуляционном пиролизе твердых бытовых отходов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2011. - №6. - с. 43.
3. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого – аналитический мониторинг супертоксикантов.– М.: Химия, 1996. – 319 с.

НАПРАВЛЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОЖИГАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ В КОНВЕРТЕРАХ С КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКОЙ

Наибольшее распространение на сегодняшний день получило дожигание отходящих газов в полости конвертера при использовании двухъярусных и двухконтурных фурм, (рис.1)

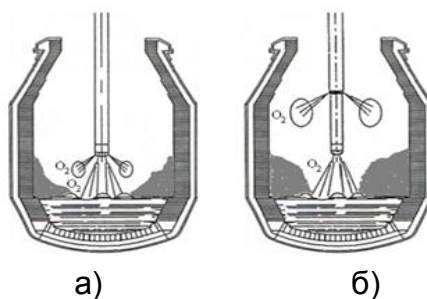


Рисунок. 1 – Схема верхней продувки конвертерной ванны при использовании (а) двухконтурной и (б) двухъярусной фурм

Содержание CO_2 в отходящих конвертерных газах при использовании двухъярусных увеличивается на 6-12%, двухконтурных на 9% по сравнению с обычными многосопловыми фурмами. Повышение дожигания газов с уровня 6% до 25% приводит к увеличению общей энергии на 60%, что позволяет повысить количество присаживаемого лома, шлакообразующих, марганец и хромосодержащих сырьевых материалов. Переработка лома может быть увеличена с 23-25% до 30-32%, и при этом снижаем расход чугуна на 34-78 кг/т стали.

Вместе с тем при использовании двухъярусных фурм возрастает износ футеровки вследствие воздействия высокотемпературных факелов дожигания и перегретого высокоокисленного шлака. Наблюдается также заметное заматывание ствола верхней фурмы, горловины конвертера, экранных поверхностей котлаутилизатора при недостаточном уровне шлака.

С целью повышения эффективности дожигания отходящих газов, предотвращения интенсивного заматывания технологического оборудования и отрицательного воздействия высокотемпературных факелов на поверхность футеровки конвертера предложена технология комбинированной продувки конвертерной ванны кислородом и нейтральным газом (рис.2) с дожиганием CO до CO_2 в потоке околофурменных газов, выходящих из реакционной зоны через вспененную шлакометаллическую эмульсию.

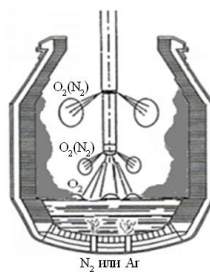


Рисунок 2 – Схема комбинированной продувки при использовании трехъярусной фурмы

Данная технология с использованием трехъярусной фурмы позволит:

- более эффективно перераспределять вдуваемый кислород на реакции с металлической, шлаковой и газовой фазами рабочего пространства конвертера, интенсифицировать процессы формирования основного шлака с оптимальной окисленностью и содержанием оксида магния с точки зрения окисления фосфора;
- управлять вспениванием шлака и организовать на протяжении большей части времени плавки спокойную продувку с частичным дожиганием отходящих газов в режиме перекрытия вспененной шлакометаллической эмульсией нижнего наконечника фурмы с предотвращением интенсивных выбросов и «сворачивания» шлака;
- предотвратить интенсивное заметалливание ствола фурмы, конической части футеровки и горловины конвертера, а также локальный износ футеровки путем ликвидации воздействия на последнюю высокотемпературных факелов дожигания;
- обеспечить снижение окисленности металла и шлака на окончательной стадии операции, особенно в случае вынужденных «додувок» плавки с целью обеспечения заданного состава и температуры расплава;
- организовать без проблем нанесение шлакового гарнисажа на футеровку конвертера посредством раздува конечного шлака азотными струями, формируемыми соплами Лавалья нижнего наконечника при максимальном расходе азота и минимальной подачи азота через цилиндрические сопла верхнего яруса во избежание их «запечатывания» брызгами шлака.

Вывод

В настоящее время не реализована технология комбинированной продувки и конструкция верхней многоярусной кислородной фурмы способной обеспечить высокие показатели дожигания, без возникновения явлений заметалливания технологического оборудования и разрушающего воздействия на футеровку. Предложенное технологическое решение о применении трехъярусной фурмы с возможностью замены вторичного кислорода на азот при комбинированной продувке нейтральным газом сверху и через днище позволяет устранить данные недостатки.

А. Г. Ясев

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЛАСТИН ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Важной областью применения жаропрочных композиционных материалов является использование для тепловой защиты машин металлургического производства. Большое экологическое значение имеет создание технологической оснастки для утилизации деталей из композиционных материалов после истечения срока их службы. Одним из этапов утилизации деталей в форме пластин является их разделение на элементы заданного размера. Для создания технологического оснащения такого процесса следует применять систему математического моделирования [1], которая включает математическое моделирование (целеполагание, идеализация, формализация, идентификация, проверка адекватности), разработку конструктивно-технологических предложений, оптимизацию параметров оснастки.

Математическое моделирование позволяет определить основные направления и принципиальные решения при создании технологической оснастки. На основании результатов моделирования предложена оснастка для дробления пластин из композиционных материалов с использованием двухстадийной схемы работы.

На первой стадии производится направленное ослабление отделяемых элементов по их контуру путем вдавливания конусов (шипов), установленных на валках, через которые «прокатываются» пластины. При вращении валков происходит двухстороннее вдавливание шипов, в результате чего образуется «насечка» требуемого размера, определяющая контуры разделения за счет частичной перфорации пластины. Под воздействием вдавливающей силы композиционный материал пластины расслаивается и достигается значительное ослабление перемычек разделяемых элементов.

На второй стадии производится отделение ослабленных элементов путем нанесения по ним ударов в зоне действия подвижного и неподвижного ножей. Прорезные зубья разрушают продольные и поперечные перемычки и отделяют элементы материала. Отрезные зубья разрушают оставшиеся

поперечные перемишки и отделяют остальные элементы. Процесс дробления происходит непрерывно.

Оптимизация конструктивно-технологических параметров использования оснастки производится для взаимного согласования параметров для каждой стадии по критерию минимума затрат энергии (минимума импульса силы разделения) при ограничении на величину перемещения отделяемого элемента.

Для проверки эффективности технологической схемы разделения и результатов оптимизации конструктивно-технологических параметров проведены дополнительные лабораторные эксперименты, которые подтвердили результаты оптимизации конструктивно-технологических параметров технологической оснастки для разделения пластин.

Моделирование позволяет эффективно решать практические задачи создания технологической оснастки для разделения пластин из композиционных материалов при их утилизации.

Список литературы

1. Ясев А.Г. Система математического моделирования технологической оснастки для разделения пластин из композиционных материалов // Теория и практика металлургии. – 2011. – № 5-6. – С. 22-26.

О.И. Воронова

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФОРМ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Особое место при литье в формы многоразового использования занимает их стойкость, что оказывает существенное влияние на себестоимость литейной продукции. Литье высокотемпературных сплавов особенно затруднено из-за резкого снижения стойкости и долговечности форм. При изучении причин выхода из строя пресс-форм для литья под давлением выделены основные три: термическая усталость, формоизменение и износ. Противоречивые и дискуссионные положения в описании механизма разрушения пресс-форм объясняются большой сложностью процессов, наличием взаимосвязанных факторов, количественный учет которых представляет значительные трудности. Термические напряжения, возникающие в формах многоразового использования в процессе эксплуатации, и термическую усталость, как их результат, можно формализовать, принять как основной критерий стойкости и рассчитать при различных условиях.

На основе литературных, производственных и исследовательских данных составлен банк данных материалов, применяемых для многоразовых форм с набором механических и теплофизических свойств, полученных экспериментальным путем при различных температурах испытаний. В качестве таких свойств использованы: коэффициент термического расширения, α_T ; модуль упругости Юнга, E ; предел прочности, σ_B ; предел текучести, σ_T ; относительное растяжение при удлинении, δ ; относительное сужение при растяжении, ψ ; коэффициент Пуассона, μ ; ударная вязкость, a_n ; коэффициент теплопроводности, λ .

Классификация материалов проведена по химическому составу, режиму термообработки и твердости сплава.

Для оценки критериев стойкости материала составлена программа, рассчитывающая значение критериев каждого материала при температурах испытаний от нормальных условий до температур эксплуатации форм при литье,

а именно 20°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 800°C, 1000°C. Обе программы составлены на языке программирования высокого уровня Turbo C для ЭВМ, совместимых с IBM PC XT/AT. Программа, реализующая обработку базы данных материалов, может работать в двух направлениях:

- поиск в базе данных материала с заданными свойствами;
- помещение в банк данных материала по его свойствам.

В результате проведенных исследований и расчетов были построены графики зависимости значений критериев различных материалов от температуры испытаний и даны рекомендации по выбору материала форм многоразового использования. В низкотемпературной области для литья цинковых и алюминиевых сплавов целесообразно применять хромовольфрамованадиевые стали. Но учитывая высокую стоимость и дефицитность вольфрама, для этих целей можно рекомендовать хромомолибденованадиевые стали типа 3Х5МФС и 4Х5МФС пониженной твердости. Эти же сплавы применимы для литья под давлением сплавов на основе меди, в первую очередь латунных, хотя при высоких температурах эксплуатации их стойкость снижается. Для литья высокотемпературных сплавов рекомендуется применять в качестве материалов многоразовых форм сплавы меди и молибдена.

УДК 621.742.56+621.74.074+ 621.744.47

Самарай В.П.

Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт”, Киев

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОПРОСЫ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ

Вопросы виброуплотнения формовочной смеси на сегодня достаточно актуальны, так как применяются во многих способах получения различных отливок: стоматологическое литье, ювелирное литье, литье по газифицируемым моделям, вакуум-пленочная формовка, литье по выплавляемым моделям, уплотнение ХТС, крупнотоннажное литье и др. Именно поэтому, правильно выбранный режим виброуплотнения один из основных факторов, который имеет большое влияние на качество готовой

отливки. На сегодняшний день продолжает оставаться множество неисследованных вопросов в этом направлении.

Качество отливок в значительной степени зависит от свойств формовочного материала, сложности используемой оснастки, степени и характера уплотнения формы. Причины образования дефектов отливок могут быть различные: степень и характер распределения плотности по объему форм, прочностные характеристики формовочной смеси, зернистость наполнителя, вид и количество связующего и добавок, влажность формовочной смеси и др.

При использовании песчаных формовочных смесей для получения отливок могут возникать дефекты готового литья из-за неоптимального уплотнения формы. Недостаточная плотность поверхности формы вызывает: пригар, шероховатость, засоры, прорыв, размыв, распор формы (подутие), утечку, наросты, разностенность, песчаные раковины, вылом (выбоина), волнистость, вскип, незалив, обвалы, плены, обгар, отдав, выдав формы (обжим). Излишняя плотность может вызывать взрывной пригар, ужимины, газовые раковины, просечки, складчатость и т.д.

При виброуплотнении формовочных и стержневых смесей (ФС, СС) в объеме литейной формы (ЛФ) или стержня образуются стоячие волны, обуславливающие наличие концентрических зон сжатия и растяжения, которые неподвижны при постоянной частоте импульсов. Периодически в этих зонах возможна смена сжатия на растяжение и наоборот, а между этими зонами существуют пространства, в которых перемещение частиц отсутствует, поэтому эти зоны не уплотняются, что многократно наблюдалось на практике. Для устранения этого эффекта и равномерного уплотнения необходимо периодически менять частоту вибрации или увеличивать зону сжатия одновременным подбором амплитуды и частоты в соответствии с текущим состоянием и реологическими и технологическими свойствами ЛФ или стержня.

Недостаточно практически исследовано явление резонанса для оптимизации и применения этого фактора в системах автоматического управления (САУ) и регулирования (САР) при уплотнении ЛФ и стержней. Совершенно не исследована связь резонанса с распределением плотностью, технологическими и реологическими свойствами в ЛФ и стержнях, с положением зон растяжения и сжатия по высоте формы. Практически не применяется расчет координат и размера резонансного слоя.

При уплотнении вибрированием в наиболее благоприятных условиях оказываются нижние слои ФС или СС, и, наоборот, верхние практически не уплотняются. Поэтому вибрация особенно эффективна для предварительного или комбинированного уплотнения. В первом случае последующее уплотнение надо осуществлять вибрацией с установленным грузом. Эта технология обеспечивает качественное уплотнение форм высокой сложности, причем на первом предварительном этапе груз только мешает – уменьшает текучесть и фиксирует смесь, затрудняя предварительное распределение, перетекание и уплотнение в опоке или стержневом ящике.

Очень актуальным остается вопрос комбинирования и последовательности применения разных видов вибрации: вертикальной, горизонтальной, круговой, поляризованной, цилиндрической, объемной. Управляемый процесс вибрации с использованием различных волн позволит производить заполнение сложных поднутрений по всему объему формы или стержневого ящика.

Совершенно не исследовано управляемое использование несинусоидальных колебаний (прямоугольных, пилообразных, сложных колебаний другой формы – типа белого, розового и других шумов). Соответственно представляет огромный интерес тщательное исследование распределения спектров и гармоник возмущающих колебаний в объеме ЛФ и стержня.

Совершенно неисследованным вопросом остается перемещение волн колебаний для разных видов вибрации в перпендикулярном направлении от вектора генерации, т.е. от боковых стенок опоки и стержневого ящика в центр ЛФ и стержня (особенно при комбинировании, многомерности и поляризации).

Теоретический и практический интерес представляют расчет и учет физических явлений интерференции и дифракции однонаправленных и разнонаправленных колебаний различной формы и параметров не только от подмодельной плиты и модели, а и одновременно от боковых стенок опоки или стержневого ящика.

Практический интерес по-прежнему представляет расчет высоты наполнительных рамок и высоты верхних холостых нагрузочных слоев ФС.

Продолжает представлять огромный практический интерес эффект встречного перемещения зерен наполнителя (например песка) разного размера при разных вибропараметрах и на разных этапах уплотнения. Остается

проблема разуплотнения уже уплотненных зон ЛФ и стержня и в связи с этим особое значение представляет оптимизация времени уплотнения вибрацией.

Следует отметить, что проблема обеспечения оборудованием для виброуплотнения наиболее полно решена в стоматологии для изготовления стоматологических протезов. Существует целая гамма вибростолов многочисленных производителей для различной грузоподъемности и с различным регулированием – либо амплитуды, либо частоты, реже – и того и другого. Однако ни один из перечисленных выше технологических вопросов управления качеством формы подробно и системно не исследованы ни самостоятельно, ни совместно. В то же самое время например в Германии прикладываются огромные усилия для создания целой гаммы вибростолов с микропроцессорным управлением и с несколькими управляющими разновекторными приводами на один вибростол, что позволяет добиваться совершенно уникальных гидравлических характеристик и возможности заполнения и уплотнения самых сложных поднутрений в изготавливаемых формах и стержнях.

Все названные вопросы и проблемы рационально исследовать с помощью подходов реологии и систем автоматического управления для обеспечения построения статических и динамических моделей реологических свойств, уплотнения, качества и дефектности ЛФ, стержней и отливок в рамках кибернетики, системного анализа и теории моделирования.

Особый интерес представляет построение передаточных функций, дифференциальных или интегральных уравнений, матричных моделей, моделей нулей и полюсов, связывающих входные сигналы виброуплотнения с выходными сигналами реологических свойств, уплотнения, качества и дефектности ЛФ, стержней и отливок с целью моделирования, анализа, диагностики, прогнозирования, оптимизации и регулирования процессов уплотнения литейных форм и стержней.

А.Д. Семенов

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ВВОДА МАГНИЯ В ЧУГУН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШАРОВИДНОЙ ФОРМЫ ГРАФИТА *

Наиболее аргументированная теплофизическая модель [1,2] формирования зародышей шаровидного графита объясняет процесс модифицирования исходя из следующих положений. После ввода магния в расплав (1370-1390 °С) происходит его нагрев, расплавление и переход в парообразное состояние при температуре 1103 °С. При интенсивном кипении магния происходит отбор тепла, охлаждение и затвердевание небольшого слоя чугуна, окружающего магний. За счёт высокого поверхностного натяжения формируется шаровидный зародыш, состоящий из парообразного магния и оболочки быстро затвердевшего чугуна.

Металлографическим методом после модифицирования выявлено образование в чугуне пор шаровидной формы размером от 3 до 5 мкм, которые являются зародышами для последующего образования шаровидного графита [2]. Исследования плотности образцов методом гидростатического взвешивания в четыреххлористом углероде до и после модифицирования подтвердили образование микропористости после модифицирования магнием. Расчеты [2] показали, что толщина затвердевшего слоя чугуна составляет $\Delta R/R_{Mg\ n} \approx 0,2$ радиуса парообразного включения магния. Тогда расплавлением оболочки ΔR можно легко объяснить все основные процессы демодифицирования:

1. Причины отсутствия шаровидного графита при модифицировании чугуна, имеющего повышенную температуру.
2. Уменьшение плотности жидкого чугуна после модифицирования магнием.
3. Увеличение скорости ультразвуковых колебаний в расплаве после модифицирования магнием.
4. Увеличение диаметра шаровидного включения при уменьшении скорости затвердевания и увеличении продолжительности кристаллизации отливки.

5. При модифицировании чугуна в автоклаве с давлением более 6 атм шаровидный графит отсутствует.
6. Общая оценка влияния химических элементов-демодификаторов на образование шаровидного графита.
7. Продувка расплава аргоном и азотом не обеспечивает получение графита шаровидной формы, хотя пузырьки образуются.
8. При повышенном в несколько раз содержании магния шаровидный графит не образуется.
9. Демодифицирование при длительной выдержке между моментом модифицирования и заливкой.
10. Причины понижения температуры солидус и отсутствия при этом уменьшения температуры ликвидус.
11. Обоснование эффективности вторичного модифицирования ферросилицием марки ФС-75, но не ферросилицием с меньшим содержанием кремния.

Выведены расчётные формулы для определения температуры охлаждения чугуна при вторичном модифицировании порошкообразным ферросилицием марки ФС75 прокатных валков с шаровидной формой графита. Так как на первом этапе при модифицировании магнием содержание кислорода в чугуне резко уменьшается по реакции $2\text{Mg} + \text{O}_2 = 2\text{MgO}$, то при вторичном вводе ФС75 экзотермической реакции соединения кремния с кислородом не происходит. Поэтому ферросилиций обеспечивает дополнительное охлаждение зародышей, из которых будет формироваться шаровидные включения графита. Это позволит уменьшить скорость расплавления оболочки Fe_3C , образовавшейся ранее при кипении магния, и повысить степень глобулярности формы графита.

Список литературы

1. Хрычиков В.Е. К вопросу образования шаровидного графита при модифицировании чугуна магнием. *Литейное производство* №2, 1997, с. 5-7.
2. Хрычиков В.Е., Меняйло Е.В., Дейнеко Л.Н. Теплофизические процессы образования шаровидного графита в высокопрочном чугуне. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2008. - №2. - С. 36-40.

*Автор признателен проф. Хрычикову В.Е. за оказанную помощь при выполнении работы.

Научное издание

ЛИТЬЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ. 2016

**Материалы XII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ЛИТЬЕ 2016**

**Материалы V МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МЕТАЛЛУРГИЯ 2016**

Подп. к печати 29.04.16 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Riso-печать. Гарнитура Таймс. Ум. печать. стр. 18,94

Тираж 300 экз. Зам № 128.

Напечатано в СПДФО

Свидетельство № 24800170000040432 от 21.03.2001 г.

61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 16

Выпуск подготовлен к печати Запорожской торгово-промышленной палатой,

20154

Тираж 300 экз.