27 - 29 мая 2014 года
УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

X МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ЛИТЬЕ 2014

III МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МЕТАЛЛУРГИЯ 2014



КОЗАК ПАЛАЦ

ЮБИЛЕЙНАЯ
X МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ЛИТЬЕ 2014

27 – 29 мая 2014 ГОДА

УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ
2014

Министерство образования и науки Украины

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Национальная металлургическая академия Украины

Ассоциация литейщиков Украины

Белорусский национальный технический университет

Магдебургский университет им. Отто-фон-Герике

AGN University of Science and Technology A. Mickiewicha

Московский государственный технический университет

Сибирский государственный университет

Запорожская торгово-промышленная палата

УДК 621.74+669(063)

ББК 30.61+34.3л0

Л64

Литье. Металлургия. 2014: Материалы Юбилейной X Международной научно-практической конференции (27-29 мая 2014 г., г. Запорожье) / Под общ. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.И. – Запорожье, ЗТПП. – 410 с. 2014 г.

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 .04.04.2014

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

Редакторы: Т.В. Берлизева, С.В. Гнилоскуренко, 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, Днепропетровск;
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 Unsversity of Science and Technology A. Mickiewicha, Краков;
Величко А. Г. – д.т.н., проф., академик НАН Украины, ректор Национальной металлургической академии наук, Днепропетровск;
Гнилоскуренко С.В. – заведущий отделом ФТИМС НАН Украины, ученый секретарь Ассоциации литейщиков Украины, к.т.н., Киев
Гресс А.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Днепродзержинского государственного технического университета, г. Днепродзержинск;
Губин Г.В. – заведующий каф. рудотермических процессов литейного производства Криворожского національного университета, Кривой Рог;
Гутько Ю.И. – д.т.н., проф., зав. каф. Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, г. Луганск;
Предраг Дашич – SaTCIP (Scientifical and Technical Center for Intellectual Property) Ltd., Vrnjcka Banja, Serbia;
Дибров И.А. – д.т.н., проф., президент Российской ассоциации литейщиков, зам. генерального директора ОАО НИИЛитМаш;
Дубоделов В.І. – академик, заведущий оттделом 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;
Кочинков А.С. – к.т.н., зав. каф. Национального технического университета Украины «К.П.И.», Киев;
Кукуй Д.М. – д.т.н., проф.., зав. каф. Белоруского національно технического университета, председателя ассоциации литейщиков и металлургов Беларусии, Беларусия;
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 технологи», София, Болгария;
Лысенко Т.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Одеского национального политехнического университета, Одесса;
Могилатенко В.Г. – д.т.н., проф., зам. председателя учебно-метоической комиссиии 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 метал лов давлением Магдебургского университета им.. Отто-фон-Гюрике, Магдебург;
Сабирзянов Т.Г. – д.т.н., проф., зав. каф. Кировоградского национального технического университета, г. Кировоград;
Ткач В.В. – проф., зам. директора Криворожского металлургического института ГВУЗ, Кривой Рог;
Товажнянский Л.Л. – д.т.н., проф., ректор Национального технического университета "ХПИ", Харьков;
Троцан А.И. – д.т.н., проф., 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 металургической 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. Штудгарт.

СОДЕРЖАНИЕ

О.В. Акимов, П.С. Пензев, В.А. Насырова, В.В. Губин. КОМПЬЮТЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТЛИВКИ КОРПУСАГИДРООБЬЕМНОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ТРАКТОРОВ ХТЗ 12

Е. Г. Афтандилянц, К. Г. Лопатько. КИНЕТИКА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ 13

Ю. Д. Бачинский, Хоружий В. Я., С. Н. Медведь, В. Д. Бачинский. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ ФС75 В ЖИДКОМ ЧУГУНЕ 15

К. Х. Бердыев, В. С. Дорошенко. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНВЕЙЕРНОГО СУШИЛА ДЛЯ СУШКИ КРАСКИ МОДЕЛЕЙ СЕРИЙНОГО ЛИТЬЯ 17

К. Х. Бердыев, В. С. Дорошенко. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА РАЗОВЫХ ПЕНОМОДЕЛЕЙ 19

Т. В. Берлизева, Н.А. Качанова, О. И. Пономаренко. ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИЕ СМЕСИ С ЖИДКИМ СТЕКЛОМ НА ХРОМИТОВОМ ПЕСКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ 21

В. С. Богушевский, Я. К. Антоневич, О. О. Антоневич. УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ И КОРРЕКЦИИ ДОЗЫ МЕТАЛЛА В МАШИНЕ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ 23

В. С. Богушевский, М. А. Шевченко, В. В. Вовк. УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА 25

В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, М.Г. Пасичник. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА 27

В. Б. Бубликов, Д. Н. Берчук, В. А. Овсянников, Е. С. Болдырева. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИЕВЫХ ЛИГАТУР ПРИ ВНУТРИФОРМЕННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ 29

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Д. Н. Берчук, Л. А. Зеленая. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАРГАНЦА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА 31

В. Б. Бубликов. ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА 33

А. М. Верховлюк, Ю. М. Левченко, Д. С. Каниболоцкий. СМАЧИВАНИЕ ОГНЕУПОРОВ РАСПЛАВАМИ СИСТЕМЫ Cu–Zn–Mn 35

А. М. Верховлюк, М. І. Науменко, Ю. М. Левченко, Р. А. Сергієнко. ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІДІ ІЗ ЗАДАНОЮ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ 37

К.В. Гаврилюк, В.П. Гаврилюк, В.Н. Бондаревский. 39

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ВЛИЯНИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ

С. В. Гнилоскуренко. СТАБИЛИЗАЦИЯ ВСПЕНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ 42

А. В. Гресс, Я. А. Сорока. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ ВАННЫ В ЛИТЕЙНЫХ КОВШАХ ПРИ ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПЕРЕГОРОДКИ 44

О. В. Гресс, О. В. Степанов. ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ЗАДАНОЇ ПОЛЯРНОСТІ, ЩІЛЬНОСТІ, ЧАСТОТИ І СКВАЖНОСТІ НА ЧАВУННИЙ ВИЛИВОК 45

А. В. Гресс, С. А. Стороженко. ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОИСК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЪЕМЕ ЛИТЕЙНОГО КОВША 46

О. В. Гресс, А. В. Тимофєєва. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАДЛИВІВ (або ТЕХНОЛОГІЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАДЛИВІВ ІЗ РІЗНИХ СПЛАВІВ) 48

О. В. Гресс, О. О. Чеботарьова. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВІДВОДУ ВІД СОРТОВОЇ ЗАГОТОВКИ В БУНКЕРІ ЗВО МБЛЗ 50

В. С. Дорошенко, Ю. Н. Иванов. ФОРМОВКА ПРИРАСТАЕТ КРИОТЕХНОЛОГИЕЙ 51

В. С. Дорошенко, К. Х. Бердыев. УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА И МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВА МОДЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА 53

В. С. Дорошенко. ЛИТЬЕ ПО ЛЕДЯНЫМ МОДЕЛЯМ В ИЗОБРЕТЕНИЯХ И ИДЕЯХ 55

Ю.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, Н.В. Доценко. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО ЛИТЕЙНОГО СПЛАВА НА ЕГО ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 57

В. П. Доценко, М. П. Тур, М. С. Слобоженюк. ИССЛЕДОВАНИЕ СУРЬМЯНИСТОГО ЧУГУНА, КАК АНТИФРИКЦИОННОГО И ИЗНОСОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА 59

В.І. Дубодєлов, М.С Горюк, В.К. Погорський. РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНІТОДИНАМІЧНОГО МІКСЕРА-ДОЗАТОРА ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВАЛКОВОГО ЛИТТЯ ЛИСТОВОЇ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ 61

В. И. Дубоделов, Н. А. Слажнев, К. С. Богдан, Ю. В. Моисеев, А. Ю. Кизилова. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛОВ ЛИТЕЙНЫХ МГД-УСТАНОВОК В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ 63

А. П. Еременко, А. А. Свиженко. ГРАФИТИЗИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА 66

Н. А. Жижкина. ЛЕГИРОВАНИЕ ВАЛКОВОГО ЧУГУНА 68

Л.Ф. Жуков, А.Л. Гончаров, А.Л. Корниенко, М.И. Смирнов, В.П. Школяренко, В.В. Батальянец, Г.О. Антонов, В.В. Дроздовский. НЕПРЕРЫВНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ И СЛИВЕ ИЗ ВАГРАНОК И ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ 71

Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЦВЕТОВОЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛУРГИИ 72

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко, А. В. Богдан, В. М. Крупник, Л.В. Крупник. НЕПРЕРЫВНАЯ МНОГОЦВЕТОВАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ 74

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко. НЕПРЕРЫВНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ И СЛИВЕ ИЗ ВАГРАНОК И ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ 75

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко, В.П. Школяренко. ТЕРМОКОНТРОЛЬ В МЕТАЛЛУРГИИ 77

Л. Ф. Жуков, Э. В. Захарченко, А. Л. Гончаров, Е. А.Сиренко. ЭКСПРЕССНЫЙ ПО ХОДУ ПЛАВКИ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ C И SI В ЧУГУНЕ 79

Л. Ф. Жуков, Н. Ф. Зубенина. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЗАГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЕ РЕЖИМЫ ПЛАВКИ И МИКСЕРОВАНИЯ МЕТАЛЛА В ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ 81

Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, Д. А. Петренко, Н.Ф. Зубенина 82
ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ C, Si и Mn В ЧУГУНЕ ПО ЕГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, А. В. Богдан, В.П.Школяренко, Н.Ф.Зубенина. БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНЫЙ НЕПРЕРЫВНЫЙ СВЕТОВОДНЫЙ ТЕРМОКОТРОЛЬ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ И АГРЕГАТАХ 83

8А.С. Затуловский, А.В. Косинская, Е.А. Каранда, В.А. Щерецкий. ЭКОНОМНОАРМИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ – НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЧАСТИЦЫ 85

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, Е. А.Сиренко ТЕПЛОФИЗИКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСПРЕСС –АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ 87

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, Е. А.Сиренко МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И МАТЕРИАЛЫ СОВРЕМЕННОЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ СПЛАВОВ 90

Б. Г. Зеленый, В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕГИРОВАНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПЕРЛИТНОГО КЛАССА 93

Л. Х. Иванова, Я. С. Маймур, А. Ю. Калашникова, Д. В. Муха, Н. А. Гилуч. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВАЛКОВЫХ ЧУГУНОВ ПОСЛЕ УПРОЧНЯЮЩЕГО ОТЖИГА 95

Д.В. Кеуш, І.М. Гурія, Р.В. Лютий, О.А. Анісімова. ВПЛИВ ГЛИНЯСТОЇ СКЛАДОВОЇ НАПОВНЮВАЧА НА УТВОРЕННЯ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КВАРЦ – ОРТОФОСФОРНА КИСЛОТА 97

Г. Ш. Кирия, Т. С. Щеглова, Л. Х. Иванова, А. С. Алексеенко. РЕГУЛИРУЕМОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ИЗЛОЖНИЦ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ 99

Е.Н. Кищенко. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 110Г13Л 101

С.В. Конончук, В.В. Пукалов. ШВИДКІСНИЙ СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ФОРМ 102

С.В. Конончук, Т.Г. Сабирзянов, В.В. Пукалов. ОСОБЕННОСТИ ПЛАВКИ ЧУГУНА В КОКСОВОЙ ВАГРАНКЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДОГРЕТОГО И ОБОГАЩЕННОГО КИСЛОРОДОМ ДУТЬЯ 104

А.Л. Корниенко, Л.Ф. Жуков. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОЦВЕТОВОЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИИ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 107

А. В. Косинская, В. А. Середенко. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ БИНАРНЫХ Al–Zr СПЛАВОВ, ПРОИСХОДЯЩЕЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЕСЯ РАСПЛАВЫ 110

В. Н. Костяков, А. А. Волошин. ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИСТАВКИ К ИНДУКЦИОННЫМ ПЕЧАМ 112

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова, А. А. Волошин. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ 113

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова. ЖАРОСТОЙКОСТЬ ЧУГУНА, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ ИЗ РАСПЛАВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА 115

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова. ЖИДКОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОКСИДНОГО СЫРЬЯ 116

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова. ЛЕГИРОВАНИЕ ЧУГУНА ХРОМОМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА ШЛАКА 118

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ ИЗ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ 119

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова. ПОЛУЧЕНИЕ ЛИГАТУР И СПЛАВОВ ИЗ ОКСИДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ 121

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская .ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА ЗОЛЫ ТЭС И ВАНАДИЕВОГО КОНЦЕНТРАТА 122

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская. ПРЯМОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ВАНАДИЕМ ИЗ РАСПЛАВА ЗОЛЫ ТЭС 123

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ 125

В. П. Кравченко, Е. В. Кравченко. ДИСТАНЦИОННЫЙ ЭКОМОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ 126

В. П. Кравченко, Е. В. Кравченко. МЕТОДЫ ИНДУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ОТЛИВКОЙ И ФОРМОЙ 128

Н.И. Лаврова, Д.А. Дёмин. ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ ФОРМОВОЧНОГО УЧАСТКА ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ 129

С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СОЗДАНИЕ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАВКИ И ЛИТЬЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ 132

В.В. Ласковець, А.А. Щерецький, В.П. Гаврилюк, К.Ю. Гзовський. ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТИТАНУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ СПЛАВУ AL-6,2CU 133

В. П. Лихошва, Е. Г. Афтандилянц, О. А. Пеликан, Л.М. Клименко. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК 135

І. В. Лук'яненко, В. О. Косячков. ФАКТОРИ ЧАСУ В ПРОЦЕСІ СФЕРОЇДИЗУВАЛЬНОГО ТА ГРАФІТИЗУВАЛЬНОГО МОДИФІКУВАННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЧАВУНУ 137

Т. В. Лысенко, Т. И. Диброва, О. В. Цибенко. ВЛИЯНИЕ ТИПА КОКИЛЯ НА ВРЕМЯ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА 139

Р.В. Лютий, Д.В. Кеуш, І.О. Шалай, В.С. Смольська. НОВИЙ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ СОЛЕЙ КАЛІЮ І ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ 141

В.Ф. Мазорчук. ОЦЕНКА ТЕРМОСТОЙКОСТИ ПОЛЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ 143

И.И. Максюта, Ю.Г. Квасницкая, Е.В. Михнян. РАЗРАБОТКАКОМПЛЕКСНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ОГНЕУПОРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПЛАВИЛЬНЫХ ТИГЛЕЙ 144

И. И. Максюта, А. В. Нейма. ТЕРМО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМАХ 146

А.Г. Малявин, А.А. Кузьменко. ПРИМЕНЕНИЕ КАМНЕЛИТЫХ МЕТАЛЛОПРОВОДОВ В ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 149

В. А. Мамишев. О ПРИМЕНЕНИИ РЕОТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ К СОЗДАНИЮ РЕОТЕРМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕТЕРОЛИТЬЯ 151

М.О. Матвеева, Б.В. Климович, В.В. Климович. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА СВОЙСТВА ЧУГУНОВ ЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОМ 153

С.Г. Мельник, А.И. Троцан, В.И. Курпас, И.Л. Бродецкий, В.Г. Ефимова, С.В. Жук. ВНЕПЕЧНОЕ РАФИНИРОВАНИЕ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНЫХ ШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ: НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ 155

С.Г. Мельник. АКТИВНОСТЬ ИОНОВ КИСЛОРОДА В РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКАХ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 157

С.Г. Мельник, В.И. Курпас, В.Г. Ефимова, С.В. Жук, Е.И. Быков, А.А. Сычевский ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНВЕРТЕРНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ 159

Е. В. Меняйло. ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РОСТА ШАРОВИДНОГО ГРАФИТА В ЧУГУНЕ 161

А. М. Михайловская. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТАНТАЛА И РЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЖС32-ВИ 163

В. Л. Найдек, А.В. Наривский , Н.С. Пионтковская , В.В. Федоров. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ГАЗОФЛЮСОВОЙ ОБРОБОТКИ РАСПЛАВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 165

В.Л. Найдек, В.И. Курпас, С.Г. Мельник. К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ 167

А.В. Наривский, Н.С. Пионтковская, В.В. Федоров. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ГАЗОФЛЮСОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СИЛУМИНОВ 168

Е. П. Нестерук, Н. П. Моисеева, Т. В. Зеленская, В. Н. Талько. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ПРОТОЧНЫХ РЕАКТОРАХ 171

В. Г. Новицкий, В. П. Гаврилюк, Д. Д. Панасенко, В. Я. Хоружий, Н. А. Кальчук. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛИТОЙ СТАЛИ ТИПА 110Х17 ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ СКОЛЬЖЕНИЯ 173

С. Ю. Пасечник, А. Ю. Пасечник. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК, ИМЕЮЩИХ МАССИВНЫЕ ПОЛОСТИ И ОТВЕРСТИЯ 175

И.Н. Примак, А.В. Дудченко, В.М. Щеглов, Н.И. Тарасевич УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ СКОРОСТНОЙ ЗАЛИВКЕ КРУПНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ 176

А.А Пуляев, Б.П. Таран. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЧУГУННЫХ ПОРШНЕЙ ДВС 177

К.С. Радченко, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров. ПАРАМЕТРИЧНІ ДІАГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОКАЛИНОСТІЙКОСТІ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ 179

А.В. Редькина, **О.В. Акимов**, **О.А.Чибичик.** МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ РОТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 181

С.И. Репях. О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ 184

С.И. Репях. РАЗМЕРЫ КЛАСТЕРОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ 186

С.И. Репях. О СТРУКТУРЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА 188

А. А. Рудницкий, О.В. Соценко, А. В. Малый. ЛИТНИКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОЛОСНИКОВ ОБЖИГОВЫХ И АГЛОМЕРАЦИОННЫХ МАШИН 190

А. А. Рудницкий, О. В. Соценко. ЛИТЬЕ КОЛОСНИКОВ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ В КОКИЛЬ 192

А. В. Саенко, О.И. Пономаренко, Т.В. Берлизєва, А.А. Радченко. О РОЛИ БЕНТОНИТА И КРАХМАЛИТА В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЯХ 195

Т. В. Семенова. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ 197

В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ В ФОРМЕ ЛВМ 199

О.С. Сергиенко, В.В. Лунев. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЛИКВИДАЦИИ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ ТИТАНОВЫХ ОТЛИВОК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ КОМПЕНСАТОРОВ 201

Е. В. Середенко. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭВТЕКТИКИ ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10, СОДЕРЖАЩЕГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ 203

Е. В. Середенко. ЛИТАЯ СТРУКТУРА И ТВЁРДОСТЬ МЕДИСТОГО СИЛУМИНА, ЗАТВЕРДЕВШЕГО В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 205

Е. В. Середенко. МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ МЕДИСТОГО СИЛУМИНА, ОБРАБОТАННОГО МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ И ЗАТВЕРДЕВАНИИ 206

Е. В. Середенко, В. А. Середенко. ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ФАЗАМИ ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10, ЛЕГИРОВАННОГО РЗМ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОХЛАЖДАЮЩИЙСЯ И ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ СПЛАВ 208

Е. В. Середенко, В. А. Середенко. УМЕНЬШЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10, ЗАТВЕРДЕВШЕГО ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ 210

Е. В. Середенко, В. А. Середенко. ФОРМИРОВАНИЕ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10 С ДОБАВКОЙ МИШМЕТАЛЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ 212

В. А. Середенко, С. Г. Голубчик. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ЭЛЕКТРОТОКОВОЙ ОБРАБОТКЕ НЕБОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ РАСПЛАВОВ 214

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МИКРОЭМУЛЬГИРОВАННОГО СПЛАВА Bi – Zn 216

И. Э. Скидин, Е. В. Чалая. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИТЬЯ ИЗ ОТХОДОВ МОДЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 218

Е.В. Симонова, Н.С. Евтушенко, О.И. Пономаренко МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ СМОЛЯНЫХ ХТС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОФОС 219

В.А. Сиротенко, В.В. Губін. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОЧИЩЕННЯ ЧАВУННОГО ЛИТВА 221

Л.А. Соколовская, О.И. Шинский, В.А. Мамишев. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛИТОГО МЕТАЛЛА 223

О. В. Соценко. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИЯ И ЦЕРИЯ В ОТЛИВКАХ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА 225

О. В. Соценко, С. Ю. Афонин. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОЦЕНКИ ФОРМЫ ГРАФИТА В ЧУГУНАХ 227

В. В. Суменкова. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ СФЕРОИДИЗИРУЮЩИХ ЛИГАТУР 229

Н.В. Сусло, В.Т. Калинин. ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДИФИКАТОРА В ОБЪЁМЕ КОВША НА ТВЕРДОСТЬ И УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ 231

Н.С. Тренёв, О.И. Пономаренко. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ 233

Т. Л. Тринева. ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 3D МОДЕЛЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 236

М.С. Усиков, Д.А. Дёмин. ОСВОЕНИЕ НОВОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ОТЛИВОК НА ЭТАПЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА 238

Н.Н. Федоров, М.А. Турчанин. НОВЫЕ КОМПАУНДЫ ДЛЯ ФОРМОВКИ ПО-СЫРОМУ С МЕНЬШИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 240

Р.С. Федюк. ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ 242

А.Н. Фесенко, В.Г. Могилатенко, М.А. Фесенко. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ 244

Е.В. Фесенко, В.А. Косячков, М.А. Фесенко. ОПТИМИЗАЦИЯ КАРБИДОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПРИСАДОК ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ 246

А.Ю. Хитько, Л.А. Шапран, Л.Х. Иванова. ЛИТЫЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РОЛИКИ МНЛЗ 248

О. Н. Хорошилов, Р. Н. Лавриненко. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ С ЦИКЛИЧЕСКИМ ОБРАТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (Fe-Cu) ЭЛЕКТРОДОВ 250

В.Е. Хрычиков. ПОЛОЖЕНИЕ ГРАНИЦЫ ВЫЛИВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА В КОКИЛЬНОЙ И ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ФОРМЕ 252

В.Н. Цуркин, А.В. Иванов, С.С. Череповский. ЭЛЕКТРОТОКОВОЕ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕ РАСПЛАВА 254

В.М. Щеглов, И.Н. Примак, С.Е. Кондратюк, Ж.В. Пархомчук. К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ 256

В.А. Щерецкий, А.А. Щерецкий, А.С. Затуловский. АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, УПРОЧНЕННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ 258

Е. А. Ясинская, В. Н. Костяков. СВОЙСТВА ХРОМИСТОГО ЧУГУНА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРРОХРОМА И ОТВАЛЬНОГО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА 260

В. В. Ясюков, К. Колесник. КИНЕТИКА ПРОПИТКИ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК 261

В. В. Ясюков, М. П. Тур, А. И. Луженецкий. СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОЦЕССАМИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ И СВОЙСТВАМИ ОТЛИВОК 263

Ю.А.Свинороев, В.И. Потапов. НОВЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ 265

Мусабах Джамал И., Ю.А. Свинороев, Ю.И. Гутько ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ СВЯЗУЮЩИХ 267

А.Ю. Кізілова. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИНАМІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ МАГНІТОДИНАМІЧНОЇ УСТАНОВКИ 269

УДК 621

О.В. Акимов, П.С. Пензев, В.А. Насырова, В.В. Губин
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков
Харьковский тракторный завод им. Орджоникидзе, Харьков

КОМПЬЮТЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТЛИВКИ КОРПУСА ГИДРООБЬЕМНОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ТРАКТОРОВ ХТЗ

Известно, что управление кристаллизацией сплава играет важнейшую роль для получения качественной литой детали. Появление дефектов усадочного характера в теле литой детали приводит к таким последствиям, как снижение механических характеристик детали, ее износостойкости, появлению трещин в местах образования дефектов и т.д.

Целью и задачей данной работы являлось решение проблем по обеспечению качества литых деталей на примере конструкторско-технологического проектирования чугунной литой детали корпуса коробки перемены передач (гидрообьемномеханическая КПП), для одной из моделей тракторов ПАО ХТЗ, в частности литниково-питающей системы и технологических параметров при заливке.

Для того чтобы решить задачу были выбраны программные комплексы: SolidWorks и LVMFLOW. Моделирование процесса заливки в программном комплексе LVM Flow показало, что применение модернизированной литниковой системы, уменьшило вероятность появления дефектов усадочного характера, засоров от неметаллических и оксидных включений, а также разрушения стержней струей заливаемого металла. Применение модернизированной литниковой системы при изготовлении отливки корпуса КПП позволит достичь высокого качества и эксплуатационных свойств готовой детали.

По результатам моделирования, выполненного в среде LVM Flow, были выявлены области предположительного образования дефектов и выбраны методы по их устранению, что позволило снизить брак и повысило технологичность изготовления литой детали.

Полученные результаты позволили обозначить пути дальнейшего исследования технологии изготовления чугунной литой детали корпуса коробки перемены передач (гидрообьемномеханическая КПП) с целью повышения конструк-

торских параметров и ее технологичности с последующим внедрением на ПАО «Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе» (ПАО «ХТЗ»).

УДК. 536:669:621.762

Е. Г. Афтандилянц, К. Г. Лопатько

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

КИНЕТИКА ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

Закономерности фазовых превращений в металлических материалах определяются изменением свободной энергии системы, определяющим последовательность структурных состояний, и кинетикой процесса.

Кинетика фазовых превращений определяется скоростью зарождения центров новых фаз и их роста, которые соответственно обратно пропорциональны энергии активации и прямо пропорциональны коэффициентам диффузии компонентов, а скорость роста также обратно пропорциональна размеру образующейся фазы.

Анализ диффузионных процессов показывает, что при переходе металлического материала из массивного в наноразмерное состояние создаются предпосылки, как для ускорения, так и замедления скорости диффузии. Формирование нанообъектов с дисперсной структурой, развитыми границами, повышенным уровнем дефектов кристаллического строения и напряжений сопровождается уменьшением энергии активации и увеличением значений коэффициентов диффузии, что создает предпосылки для увеличения скорости зарождения центров новых фаз и их роста.

В случае образования нанообъектов с крупными зернами, слабо развитыми границами, незначительным количеством дефектов и низким уровнем напряжений, например при их формировании в равновесных условиях, наблюдается обратная зависимость.

Необходимо также учитывать отношение поверхностной энергии к размеру нанообъекта, поскольку при уменьшении его размеров диффузионные процессы ускоряются, однако величина поверхностной энергии при этом понижается, что оказывает противоположное влияние.

В зависимости от соотношения вышеизложенных факторов, которые определяются, в основном, химическим составом, способом получения, размером и формой нанообъектов, возможно как увеличение, так и уменьшение скорости зарождения и роста новых фаз.

Неоднозначное влияние многочисленных факторов на условия образования и кинетику реализации фазовых превращений в нанообъектах предопределило исследование закономерности изменения температур и кинетики фазовых превращений в наночастицах относительно массивного состояния металлических материалов.

Анализ фазовых превращений наночастиц оксидов CuO в процессе нагрева показывает, что в наночастицах CuO процесс окисления и диссоциации начинается при температурах, соответственно, в 7 и 1,3 раз ниже, чем в массивных материалах, а температурный интервал восстановления сокращается в 9,8 раза.

Анализ кинетики фазовых превращений железосодержащих наночастиц, полученных электроискровой обработкой железных гранул в воде, показывает, что в интервале от 409 до 478 ^{o}C происходит окисление $\approx$ 50% α-Fe железа водяным паром до оксида FeO и образование водорода, а в интервале от 570 до 721 ^{o}C восстановление оксида Fe_3O_4 водородом до FeO. Максимальное развитие реакций наблюдается, соответственно, при 449 и 627 ^{o}C и времени составляющим 59 и 37 %, от общего времени фазовых превращений.

Реакция окисления железа водяным паром до оксида FeO заканчивается, а восстановление оксида Fe_3O_4 водородом до FeO начинается при температурах, соответственно, на 186 и 108 ^{o}C меньше, чем в равновесных условиях (664 и 678 ^{o}C, соответственно). Средняя скорость окисления железа водяным паром до FeO составляет 14,5 нм/мин, что в 1,8 – 2,6 раза выше, чем массивного железа в соответствующем интервале температур. Средняя скорость превращения наночастиц Fe_3O_4 в FeO составляет 3,11 мг/мин.

УДК 669.162.275:669-154

Ю. Д. Бачинский, Хоружий В. Я., С. Н. Медведь, В. Д. Бачинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ ФС75 В ЖИДКОМ ЧУГУНЕ

При получении высокопрочного чугуна определяющей технологической операцией является модифицирование расплава, которое обеспечивает получение включений графита шаровидной формы, предотвращает образование эвтектического цементита в структуре тонкостенных отливок, служит средством достижения оптимальных механических и служебных свойств отливок без их термической обработки. Ферросилиций – основной графитизирующий сплав, который также является основой FeSiMg лигатур для сфероидизирующего модифицирования.

Цель работы состояла в экспериментальном определении величины скорости плавления твердого ферросилиция в зависимости от температуры жидкого чугуна и длительности выдержки ферросилиция в расплаве.

При погружении в жидкий чугун ферросилиций нагревается до температуры плавления, плавится и растворяется в железоуглеродистом расплаве. В ходе этого процесса происходит физико-химическое взаимодействие компонентов ферросилиция и чугуна, результатом которого на начальной стадии растворения твердого образца является изменение его фазового состава, который влияет на кинетику перехода кремния и других химических элементов в жидкий чугун. Легкоплавкие фазы первыми начинают плавиться и интенсивно растворяться в чугуне. Диффузия компонентов чугуна в образец приводит к переходу некоторых тугоплавких фаз в более легкоплавкие и ускоряет процесс плавления. На границе «твердый ферросилиций – расплав чугуна» вследствие взаимной диффузии образуются легкоплавкие эвтектики, ускоряющие плавление.

Ферросилиций ФС75 имеет микроструктуру, состоящую из двух фаз: кремния и лебоита. Вследствие интенсивно протекающей встречной диффузии железа (из чугуна в ферросилиций) и кремния (из ферросилиция в чугун) уменьшается количество кристаллов кремния с высокой температурой плавления (~1414 °С). Образуются новые фазы – Fe_2Si (~1220 °С) и небольшое количество FeSi (~1410 °С). Наиболее активно происходит диффузия углерода из чугуна в ферросилиций. Выдержка образца ферросилиция в чугуне при 1380 °С в течение 7 с приводит к увеличению массовой доли углерода с 0,1 % в

исходном образце до 1,2 % в поверхностном слое и до 0,7 % в его центре. Вследствие встречной диффузии содержание железа в поверхностном слое образца увеличивается в 2 раза, по сравнению с его центром, а кремния примерно в такой же пропорции уменьшается при движении от центра образца к поверхности.

Интенсивно протекающие диффузионные процессы способствуют формированию мелкодисперсной структуры при охлаждении плавящегося поверхностного слоя образца ферросилиция на воздухе. Учитывая достаточно высокую температуру жидкого чугуна, параллельно с процессом встречной диффузии происходит плавление поверхностного слоя образца ФС75.

В зависимости от температуры чугуна и времени выдержки в расплаве остатки образцов ферросилиция ФС75 имеют вид почти полностью или частично расплавившихся тел с характерной грубой шероховатостью поверхности, образуемой локальными выступами, затвердевшими каплями, углублениями. При значительном локальном переохлаждении расплава чугуна, возникающем в зоне контакта при погружении ферросилиция (в случаях относительно низкой температуры чугуна, большой массы образцов, а также кратковременного погружения ферросилиция), образцы в зоне нагрева представляют собой разбухшие тела с каплевидным выпуклым рельефом поверхности. Размеры и масса их в начальном периоде взаимодействия с чугуном увеличены по сравнению с исходным состоянием (табл.).

Таблица – Начальный вес образцов ферросилиция ФС75, условия проведения исследования и полученные результаты

Начальная масса, г	Температура металла в печи, °С	Время выдержки, с	Масса образца после испытаний, г	Изменение массы, г
11,45	1300	5,0	25,00	+13,55
10,54	1350	5,2	10,65	+0,11
11,55	1400	5,3	8,34	-4,46
12,80	1450	5,0	4,18	-7,37

Установлено, что повышение температуры жидкого чугуна в интервале 1350-1450 °С эффективно способствует увеличению массовой скорости плавления ферросилиция ФС75 в результате интенсифицирования тепло- и массообменных процессов в системе «жидкий чугун – твердый ферросилиций».

УДК 621.744.072.2

К. Х. Бердыев, В. С. Дорошенко

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНВЕЙЕРНОГО СУШИЛА ДЛЯ СУШКИ КРАСКИ МОДЕЛЕЙ СЕРИЙНОГО ЛИТЬЯ

ЛГМ-процесс оптимально подходит для серийного литья тракторных и автомобильных заготовок, в котором производство качественных моделей из пенополистира является важной составляющей. Перед формовкой модели покрывают противопригарной краской, которую сушат при температуре не выше +35-40^{o} С, иначе возможно растрескивание и осыпание покрытия. Продолжительность высыхания водного покрытия при обдувании воздухом с указанной температурой составляет 65-75 мин.

Производственная площадь под сушило имеет размеры 5,5х13,5 м при высоте помещения 4,5 м. Важность равномерной сушки на гидрофобной поверхности пенополистирола с возможностью усадочных явлений со стороны краски аналогична требуемой при получении многослойных керамических оболочек. С учетом погрузки-разгрузки продолжительность гарантированного выстаивания в конвективной среде теплого воздуха принята равной 90 мин.

Анализ возможных вариантов транспортной сушильной системы при указанных габаритах помещения показал, что оптимальным является замкнутый цепной привод с узлами подвески сушильных корзин с шагом 0,5-0,6 м, который обеспечит необходимую производительность сушильной камеры. Высота $h_п$ узла подвески, исходя из эргономических требований, составляет 1,5 м. Необходимая скорость перемещения, исходя из продолжительности сушки 90 мин., составляет 1 м/мин.

Возможные варианты размещения цепного транспортера: на вертикальной стенке и на полу помещения. При размещении на вертикальной стенке можно получить только три ветви $H/h_п$=4,5/1,5=3, при высоте помещения H=4,5 м. При этом общая длина ветвей не превысит 50 м и потребная скорость перемещения цепи V_1=0,55 м/мин. Это усложнит конструкцию привода цепи и не обеспечивает возврат узла подвески без дополнительной ветви, для этого число ветвей должно быть четным. При размещении параллельно полу цепи с ее изгибами по горизонтали радиусом R=350-400 мм можно разместить 6 ветвей, заполнив

площадь сушила зигзагообразно с общей длиной цепи L=90 м. Тогда скорость цепи будет V_2= 90 м/90 мин = 1м/мин.

Выбрали цепь пластинчатую с шагом t=19,05 мм марки 63-15В. Приводим расчет привода. Исходные параметры L=90 мм, время сушки Т=90 мин, скорость сушки $V_ц$=1 м/мин. Нагрузка на 1 узел подвески p=10 кг. Шаг подвесных узлов l_1=0,6 м. Диаметр подвесного узла d_n=0,5 м. Количество подвесных узлов по длине цепи $N'=L/l_1=90/0,6=150$ шт. Расстояние между опорными звездочками l_2=2 м; количество подвесок между опорами $N'=l_2/l_1$ =2/0,6 = 3,3 шт. Нагрузка на опору звездочки $P_1=N' \cdot p=3,3 \cdot 10=33$ кг (нормальная составляющая сил на опору). Опоры подшипников качения с коэффициентом трения f=0,01-0,03. Усилие на опору $P_o=P_1 \cdot f=33 \cdot 0,03=0,99$ кг. Суммарноея требуемое тяговое усилие цепи $P=P_o \cdot N'=0,99 \cdot 150=148,5$ кг (150 кг). Отсюда, выбираем волновой редуктор $МВ_з$ – 160 ($N_{дв}$=1,1 кВт, $M_{кр}$=1000 НМ, $n_{вых. вала}$= 9 об./мин.)

Ход цепи за 1 обор. выходного вала редуктора при числе зубьев Z_1 звездочки, равной 20, (зубчатое колесо РН312В1В20) $v_ц'= t_ц \cdot n_{вых.} \cdot Z = 19,05 \cdot 9 \cdot 20=3429$ мм/мин.. Т.е. необходимо установить цепную передачу с $i=v_ц'/v_2=3,429/1=3,429$. Требуемое число оборотов приводного вала $n_2 = n_1 /i = 9/3,429 = 2,62$ об/мин. Требуемое число зубьев звездочки на приводном валу: $Z_2=Z_1 \cdot i=20 \cdot 3,429=68,5$ зубьев. Принимаем Z_2 = 70 зубьев. Звездочка РН 312В1В70.

Кинематика передачи включает: 1) мотор-редуктор со звездочкой; 2) вал приводной цепного конвейера; 3) прижимную планку.

Скорость цепного конвейера $v_p^ц = n_2 \cdot Z_1 \cdot t =2,62 \cdot 20 \cdot 19,05= 998,2$ мм/мин., что удовлетворяет требованиям сушки покрытия. С целью устранения спадания цепи с приводной звездочки применяем прижимную планку: N 1642 – 610 12 45, профиль СТ 9/2 ISO № 12В-1. Для обеспечения соединения звездочек с валами использовали соединительные муфты Sit-lock 4, d x D= 25 x 50.

В качестве опор использовали подшипниковые узлы Р25TF; валы – Precision shafts SKF LJM 25 x 200. Опоры для установки собранных валов со звездочками изготавливаются из проката. Трубы квадратные 40 x 40 x 2,5. Для натяжения цепи используем стандартные узлы.

Замкнутая цепь L=90 м при непрерывном движении со скоростью 1 м/мин. с 150 подвесками обеспечит сушку краски моделей при температуре 35-40^{o}С с возвратом сухих моделей в зону, соседнюю с загрузочной, для последующей отправки моделей на формовку.

УДК 621.744.072.2

К. Х. Бердыев, В. С. Дорошенко,

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА РАЗОВЫХ ПЕНОМОДЕЛЕЙ

При разработке КД на новый полуавтомат ПМ-2К для производства пеномоделей в пресс-формах с габаритами 800×500×380/1480 мм учтен опыт эксплуатации п/автомата ПМ-5М и автоклавов ГП-100, ГП-400, парогенераторов АВ-ПЭ(Э) з-да "НПП Электротепломаш", г. Днепропетровск. Конструкция ПМ-2К экономична из-за отсутствия внешнего парогенератора и паропровода [1]. Встроенный вакуумный пластинчатый насос (1,0 м^3/мин.) с вакуумным аккумулятором (0,7 м^3) обеспечивает полуавтомату 25...30 съемов моделей в час, а установка вибратора в бункере подвспененного ППС - равномерную подачу гранул в пресс-формы.

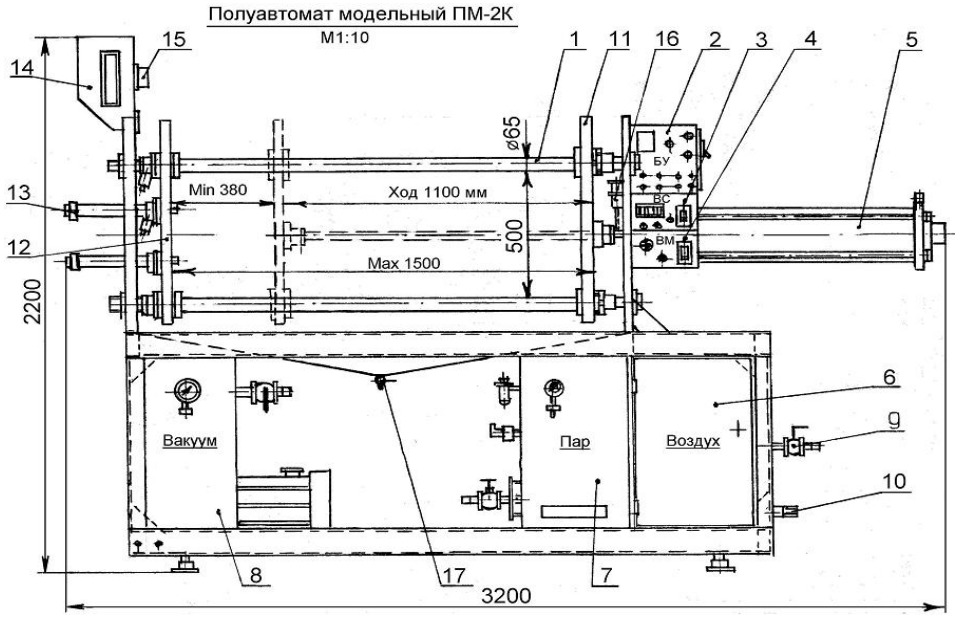


Рис. Полуавтомат ПМ-5М: 1 - станина; 2 - блок управления полуавтоматом; 3 - пульт управления парогенератором; 4 - пульт управления вакуумной системой; 5 - главный цилиндр d 200; 6 - пульт воздушной системы (Р=1 МПа); 7 - парогенератор (Р=0,15 МПа, Т=130^{o}С); 8 - вакуумная машина с ресивером; 9 - блок подвода сжатого воздуха, воды; 10 - система отвода воды и пара; 11 - подвижная плита; 12 - неподвижная плита; 13 - задувочное устройство (2...6 шт.); 14 - бункер подвспененного полистирола; 15 - вибратор загрузки; 16 - запорное устройство; 17 - поддон.

Управление ПМ-2К - программируемым контроллером фирмы Siemens, пневмоаппаратура и датчики аналогичны ПМ-5М. Из-за расположения котла парогенератора (мощностью $N_{уст.}$=32 кВт; Р=0,15 МПа) рядом с пресс-формой пар остается сухим без излишних паропроводов. Макс. давление пара - 0,2 МПа, температура - 130^{o}С, производительность - 50 кг пара в час, энергопотребление - менее 50 квт.ч. Рекуператор пара не предусмотрен, учитывая сложность и стоимость установки.

Таблица 1.

Сравнительные характеристики модельного оборудования

Характеристики	Автоклав ГК-100	Автоклав ГК-400	П/автомат ПМ-5М	П/автомат ПМ-2К
Производительность[1], цикл/час	5÷25	5÷25	15÷25	25÷30
Энергопотребление[2], кВт·ч	16	30	≈110	<50
Соотношение стоимости оборудования (базовая - ГК-100)	1	2,3÷2,6	7÷10	10÷12
Время переналадки на пр-во др. типоразмеров моделей, час.	0	0	8÷12	8÷12
Соотношение стоимости пресс-форм[3] (базовая - ГК-100)	1	1÷3	3÷5	4÷5
Занимаемая площадь[4], м^2	6	8	35÷40	10

[1] - с учетом времени на задувку ППС в пресс-форму; [2] - с учетом мощности подключенных к полуавтомату парогенератора, вакуумного и водного насосов, компрессора; [3] - с учетом стоимости проектирования; [4] - с учетом минимально необходимого технологического оборудования (стол сборки пресс-форм, ванны охлаждения и др.)

Новая конструкция полуавтомата, созданная в отделе ФХПФ под руководством проф. Шинского О.И., позволяет получать более крупные модели по сравнению с другими отечественными конструкциями, автономна и экономична по энергопотреблению, имеет повышенную производительность по сравнению с отечественными аналогами. Это оборудование используется для производства моделей, других фасонных изделий из пенополистирола для упаковки, теплоизоляции, художественных деталей интерьера и т.п.

Список литературы

1. Бердыев К. Х., Дорошенко В. С. Совершенствование оборудования для производства моделей из пенополистирола // Литейное производство. – 2014. – № 1. – С. 32-34.

УДК 621.744

Т. В. Берлизева, Н.А. Качанова, О. И. Пономаренко
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИЕ СМЕСИ С ЖИДКИМ СТЕКЛОМ НА ХРОМИТОВОМ ПЕСКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИКЛОКАРБОНАТОВ

В литейном производстве одними из распространенных смесей являются холоднотвердеющие смеси (ХТС) на жидком стекле. Жидкостекольные смеси широко применяются при единичном и серийном изготовлении форм и стержней.

В качестве наполнителя, как правило, используется кварцевый песок. Однако, недостатком таких смесей является плохая выбиваемость и регенерируемость вследствие повышенной спекаемости жидкого стекла с формовочным песком. Ограниченное использование отработанных смесей связанное с тем, что в приготовляемых смесях накапливается оксид натрия Na_2O, который снижает огнеупорность смесей. Поэтому, разработка новых составов ХТС на жидком стекле (ЖС), которые не имели бы этих недостатков, является актуальной задачей литейного производства.

Для изготовления крупных стальных отливок целесообразно использовать хромитовые пески, вместо кварцевых. По сравнению, с кварцевыми песками они не имеет аллотропических превращений и обладает высокой прочностью при термическом ударе. Также, благодаря, высокой теплопроводности и теплоаккумулирующей способности хромита можно предотвращать неравномерность кристаллизации, которые приводят к образованию горячих трещин и напряжений в отливке.

Целью данной работы является изучение физико-механических свойств холоднотвердеющих смесей на основе хромитовых песков с жидким песком с применением циклокарбонатов.

В качестве жидкого отвердителя ХТС выбрали фурфурилоксипропилциклокарбонат (ФОПЦК). В качестве добавки к отвердителю ФОПЦК использовали триэтаноламин (ТЭА). ФОПЦК – это материал на основе сырья растительного происхождения. Он экологически безопасен, так как при заливке метала в форму в

результате термохимической деструкции ФОПЦК разлагается и выделяет в объеме сформированной композиции CO_2 и пары воды в окружающую среду.

Смеси готовили следующим образом: на 100 мас. ч. хромитового песка добавляли соответственно 4,5, 5 и 5,5 мас.ч. жидкого стекла с добавками, а также 0,4, 05 и 0,6 мас. ч. жидких отвердителей. В песок добавляют отвердитель и перемешивают в течение 3 минут, затем добавляли жидкое стекло с добавками и перемешивали еще 2 минуты. Модуль ЖС при этом составлял 2,6-3,0, а плотность – 1,36-1,45 г/см^3.

Триэтаноламин в необходимом количестве (2, 6 и 10 мас. ч. от массы ФОПЦК) добавляли в жидкое стекло и перемешивали.

Моделирование свойств смесей проводили на основе использования уравнений регрессии, полученных с помощью планируемого эксперимента типа 2^{6-3} (полуреплика полного факторного эксперимента для трех переменных).

Механические свойства формовочных и стержневых смесей являются одним из главных факторов, определяющих возможность получения качественных отливок.

Контролировались следующие физико-механические свойства смеси: прочность на изгиб в сыром состоянии; прочность на разрыв и прочность на сжатие.

Варьированными факторами являлись: количество жидкого стекла (x_1), количество ФОПЦК (x_2) и триэтаноламина (x_3). В качестве параметра оптимизации (y) были выбраны основные физико-механические показатели свойств формовочных смесей: прочность на изгиб (y_1), прочность на разрыв (y_2) и прочность на сжатие (y_3), кг·с/см^2.

В результате обработки полученных данных была получена следующая система уравнений в кодированном масштабе:

$$y_1 = 24,25 + 1,75x_1 + 1,25x_2 + 1,5x_3$$

$$y_2 = 1,69 + 0,04x_1 + 0,09x_2 + 0,09x_3 + 0,04\,x_5 + 0,04\,x_6$$

$$y_3 = 4,59 + 0,09x_1 + 0,36x_2 + 0,36x_3 - 0,14\,x_4 + 0,11\,x_5 + 0,09\,x_6$$

Проверка полученных математических моделей на значимость и адекватность проводилась с помощью критерия Стьюдента и критерия Фишера.

Таким образом, ХТС с ЖС на основе хромитовых песков возможно применять в литейном производстве.

УДК 621.74.043.2:(658.012.011.56:681.3)

В. С. Богушевский, Я. К. Антоневич, О. О. Антоневич

Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ И КОРРЕКЦИИ ДОЗЫ МЕТАЛЛА В МАШИНЕ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Введение. В настоящее время в процессах литья под давлением (ЛПД) в промышленных масштабах применяется целый ряд заливочных и дозирующих устройств [1]. Наиболее распространен механический способ подачи расплава роботизированным устройством, работающим по программе. При этом налив металла производится мерным ковшом. Точность дозирования механическим способом в процессе работы снижается, что связано с образованием настылей на ковше.

В автоматических дозаторах в качестве источника энергии используется или давление сжатого воздуха (инертного газа), или магнитно-динамические силы. Дозирование осуществляется по времени. В обоих случаях возникают проблемы точности дозирования, связанные с постепенным зарастанием сливного металлопровода.

Цель исследований. Повышение точности и надежности дозирования путем введения обратной связи по фактической дозе металла поступающей в машину ЛПД.

Результаты исследований. Устройство измерения и коррекции дозы (рис. 1) монтируется на машине ЛПД и содержит цилиндр 1 прессования с пресс-поршнем 2, запрессовывающим металл из пресс-стакана 3 в пресс-форму 4. Измеритель 5 дозы, состоит из датчика 6 импульсов, с которым взаимодействует установленная на пресс-поршне рейка 7 с прорезанными в ней щелями [5], соединенного со счетным входом счетчика 8. К установочному входу счетчика подсоединен задатчик 9 максимальной дозы металла. Выход счетчика 8 подключен к сумматору 10 и индикатору 11 дозы металла. Ко второму входу сумматора 10 подсоединен выход задатчика 12 величины номинальной дозы металла. Числовой выход сумматора 10 подсоединен к сумматору 13 и индикатору 14 величины отклонения от номинальной дозы. Знаковый выход сумматора 10 подсоединен к индикатору 15 знака отклонения дозы и сумматору 16. Ко второму входу сумматора 13 подключен выход задатчика 17 величины предельного отклонения дозы металла от номинальной. Выход сумматора 13 подключен ко второму входу сумматора 16 и индикатору 18 коррек-

ции дозы. К третьему входу сумматора 16 подключен выход задатчика 12 величины номинальной дозы. Вход сумматора 16 подключен ко входу блока 19 управления дозатором, который регулирует величину дозы металла, выдаваемую дозатором 20. Выход счетчика 8 через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 21, дифференциаторы 22 и 23 и пороговый элемент 24 подключен к блоку 25 памяти, второй вход которого соединен с датчиком 26 исходного положения пресс-поршня. Режимные входы счетчика 8 соединены с датчиком 26 исходного положения пресс-поршня и выходом блока 25 памяти.

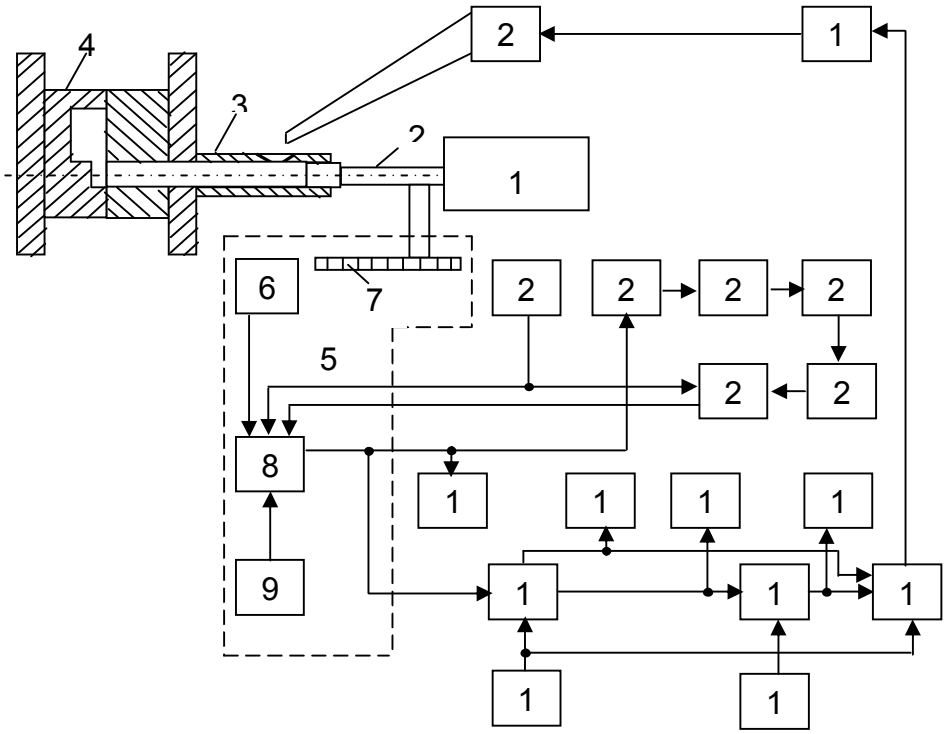


Рис. 1. Блок-схема устройства

Выводы. Для повышения точности дозирования в схему управления дозатором введена обратная связь по фактической дозе металла, определенной по его объему в полностью заполненном пресс-стакане. Использование устройства повышает ТЕП процесса ЛПД.

Список литературы

1. *В. С. Богушевський* АСКТП комплексу лиття під тиском //Автоматизація виробничих процесів. – 2001. – № 2 (13). – С. 53 – 55.

УДК 669.184 (088.8)

В. С. Богушевский, М. А. Шевченко, В. В. Вовк

Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

Введение. В черной металлургии широко используются устройства контроля теплового потока как для контроля тепловой нагрузки на водоохлаждаемые элементы технологических агрегатов, так и для управления технологией [1]. В частности в конвертерном производстве информация о тепловых потоках на фурму и кессон является составной частью модели управления плавкой [2]. В настоящее время тепловой поток на водоохлаждаемые элементы определяют по информации о расходе и разности температур воды на их входе и выходе. При этом возникают неточности связанные с транспортным запаздыванием, так как измерения производятся в разных точках [3].

Исследования проводились в Национальном техническом университете Украины „КПИ” по теме „Математические модели и алгоритмы системы управления кислородным конвертером”, Государственный регистрационный номер 0110U002880 на ОАО «Металлургический комбинат „Азовсталь”».

Цель исследований. Повышение точности и надежности контроля теплового потока.

Результаты исследований. Устройство контроля (рис. 1) имеет подводящий 1 и отводящий 2 трубопроводы к охлаждаемому элементу, в которые встроена дифференциальная термопара 3. Рабочие спаи термопары 3 находятся в обоих трубопроводах и механически соединены с холодными спаями термобатарей 4 и 5 через диэлектрик 6. Выход термопары 3 соединен с измерителем теплового потока, а термобатареи – с источниками питания.

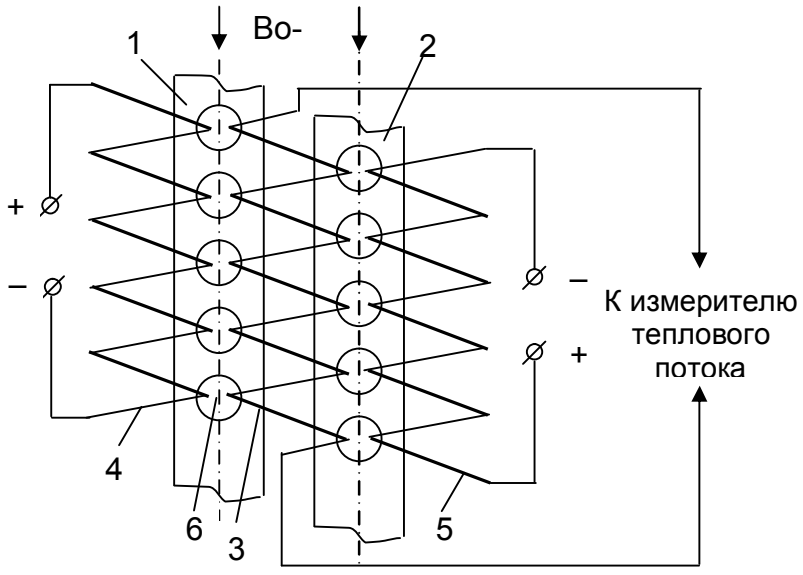


Рис. 1. Схема устройства контроля теплового по-

Устройство работает следующим образом. При подаче воды по трубопроводам 1 и 2 к охлаждаемому элементу агрегата от источников питания начинают пропускать электрический ток через термобатареи 4 и 5. В результате внутренние спаи термобатарей согласно эффекту Пельтье, который возникает при несовпадении силы тока и термо-ЭДС, охлаждаются, охлаждая рабочие спаи термопары 3 до температуры более низкой, чем температура воды в трубопроводах. Разность температур спаев термопары 3 в этих условиях является функцией и температуры воды в трубопроводах 1 и 2, и расхода воды. Подбором охлаждающего эффекта термобатарей 4 и 5 корректируют сигнал дифференциальной термопары 3 таким образом, что для данной конструкции он становится пропорциональным тепловому потоку, так как чувствительный элемент реагирует на произведение перепада температуры воды на ее расход.

Выводы. Применение устройства контроля теплового потока на водоохлаждаемые элементы в системе автоматизации кислородных конвертеров позволило увеличить точность контроля скорости обезуглероживания и хода процесса шлакообразования.

Список литературы

1. *Б. М. Бойченко, В. Б. Охотський, П. С. Харлашин.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник. – Дніпропетровськ: РВА "Дніпро-ВАЛ", 2004. – 454 с.

2. *В. С. Богушевський, С. В. Жук, О. С. Абрамова.* Параметры работы водоохлаждаемого оборудования как индикаторы массо- и теплообменных процессов в ванне конвертера // Сборник научных трудов “Актуальные проблемы современной металлургии”. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – С. 126-134.

3. *V. Bogushevskiy, M. Sharbatian, V. Sukhenko.* System for the BOF Process Control // The advanced Science open access Journal. – 2013. – V. 5. – P. 23-27.

УДК 621.746.2 (088.8)

В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, М.Г. Пасичник

Национальный технический университет Украины КПИ

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

Введение. Автоматизация заливки форм расплавом повышает качество отливок, снижает брак и трудоемкость процесса, уменьшает массу пресс-остатка. Ключевая проблема автоматической заливки литейных форм – дозирование расплава, а в некоторых случаях и регулирование скорости заливки. В промышленных масштабах применяются различные устройства дозирования расплава и способы его подачи [1]. Наиболее распространена подача расплава механическим способом, осуществляемая роботизированным устройством в функции объема дозы. При этом налив металла производится мерным ковшом [2]. Глубина погружения мерного ковша в металл, находящийся в плавильной печи, определяется по срабатыванию контактного датчика по цепи стержень из тугоплавкого материала (зачастую титана) – металл. При всей простоте реализации способ имеет недостатки, связанные с изменением глубины погружения мерного ковша в металл вследствие намораживания металла на стержень и образования настылей на ковше.

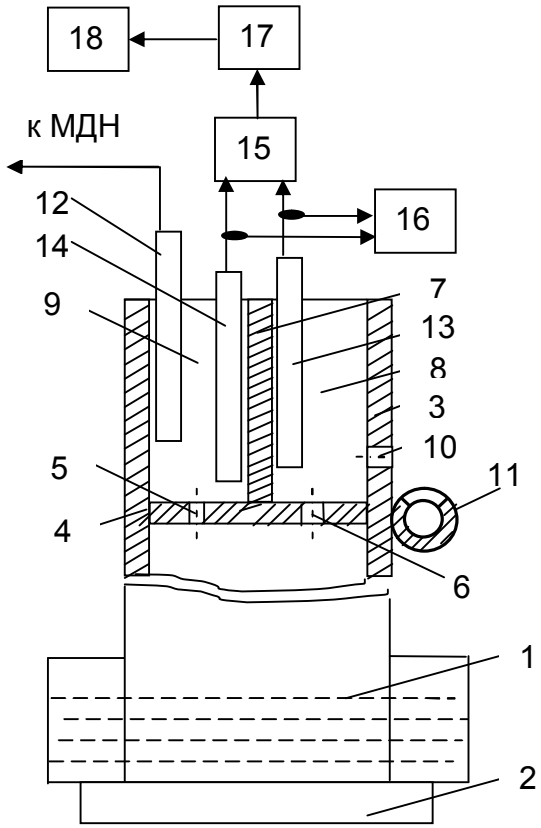


Рис. 1. Схема устройства для дозирования жидкого металла

Постановка задачи исследований. Целью исследований является повышение точности дозирования металла в литейную форму.

Результаты исследований. **Нами разработано устройство, лишенное этих недостатков, имеющее более высокую точность дозирования (рис. 1).**

Устройство работает следующим образом. При включении МДН 2 металл, находящийся в ванне 1, поступает в металлопровод 3 и через отверстия 5 и 6 соответственно меньшего и большего диаметра, выполненные в горизонталь-

ной перемычке 4, поступает в камеры 8 и 9, которые разделены вертикальной перегородкой 7. При этом металл, поступающий через отверстие 6 большего диаметра в камеру 8, достигает сливного окна 10 и выливаясь через него заполняет камеру 11 прессования. Металл, поступающий через отверстие 5 меньшего диаметра, заполняет объем камеры 9. Заполнение камеры 9 идет до тех пор, пока не сработает датчик 12 уровня, отключающий МДН 2. При отключении МДН металл из камер 8 и 9 по металлопроводу 3 стекает в ванну 1. Соотношение сечений отверстий, выполненных в горизонтальной перемычке 4, позволяет небольшими расходами жидкого металла в камеру 9 фиксировать заданную дозу жидкого металла, поданную через отверстие 6 большего сечения и сливное окно 10 в камеру 11 прессования, так как отверстия находятся в одинаковых условиях (влиянием небольшой высоты столба можно пренебречь) относительно напора жидкого металла, создаваемого МДН. Таким образом, необходимая доза заливаемого жидкого металла в камеру 11 прессования определяется сечением отверстия в горизонтальной перемычке 4 и расположением датчика 12 уровня и не зависит от величины давления, создаваемого МДН.

Так как в процессе эксплуатации устройства происходит неравномерное зарастание отверстия, то точность дозирования со временем снижается. При этом жидкий металл достигает датчики 13 и 14 уровня в различное время. В момент достижения металлом одного из датчиков 13 или 14 уровня через блок ИЛИ 15 запускает таймер 17, сброс которого происходит по сигналу от блока И 16 при поступлении обоих сигналов от датчиков 13 и 14 на его входы. При превышении времени работы таймера некоторой величины, определяемой допустимой погрешностью дозирования, с его выхода на блок 18 сигнализации поступает сигнал, фиксирующий нарушение процесса дозирования.

Выводы. Использование устройства для дозирования жидкого металла позволяет повысить надежность дозирования, предупреждая нарушения точности, что приводит к снижению брака на 0,5 %.

Список литературы

1. *Дембовский В.В.* Автоматизация литейных процессов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

2. *Богушевський В.С., Антоневич Я.К.* Система керування машинами лиття під тиском.// Наукові праці національного університету харчових технологій. – 2013. – № 48. – С. 10-16.

УДК 669.162.275:542.65:621.746.6

В. Б. Бубликов, Д. Н. Берчук, В. А. Овсянников, Е. С. Болдырева

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИЕВЫХ ЛИГАТУР ПРИ ВНУТРИФОРМЕННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ

Известно, что магниевые лигатуры различных производителей с аналогичным содержанием магния значительно отличаются эффективностью действия на параметры структуры отливок из высокопрочного чугуна (степень сфероидизации графита, наличие цементита, соотношение феррит/перлит в металлической основе), которые, в свою очередь, определяют уровень механических свойств, обрабатываемость резанием, необходимость проведения термообработки для улучшения структуры и свойств изделий.

Учитывая вышеизложенное, представляется актуальным исследование влияния внутриформенного модифицирования магниевыми лигатурами близкими по содержанию магния на формирование структуры тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Изучали модифицирующую способность трех магниевых лигатур, химический состав которых представлен в таблице, при внутриформенном модифицировании расплава. В исследовании применяли ступенчатые пробы с размером ступеней 60×60 мм и толщиной 1,5; 2,5; 5 и 10 мм.

Таблица – Химический состав исследуемых магниевых лигатур

Марка	Массовая доля элементов, %				
	Mg	Ca	РЗМ	Si	Fe
ФСМг7-1	7,10	0,54	0,44	45,40	Ост.
ФСМг6-2	6,60	2,40	0,45	49,60	Ост.
ФСМг6-3	6,10	1,20	1,10	48,0	Ост.

Толщина полученных ступеней варьировалась в определенных пределах, обусловленных расталкиванием формы при извлечении модели и некоторыми другими факторами. Перед проведением металлографического анализа измеряли фактическую толщину сечения в месте, подготовленном для исследования.

Установлено, что все исследованные лигатуры, обеспечивая высокую степень сфероидизации графита (более 90 %) в ступенях толщиной 2, 4, 7 мм, отличаются влиянием на степень графитизации структуры.

Минимальное количество (1-2 % цементита) образуется в ступени толщиной 2 мм при модифицировании лигатурой ФСМг6-3. При модифицировании лигатурами ФСМг7-1 и ФСМг6-2 в ступени толщиной 2 мм образовался цементит в количестве до 3 и 5 %, соответственно. В ступенях толщиной 4-7 мм цементит отсутствовал.

Максимальная инокулирующая и ферритизирующая способность наблюдается при внутриформенном модифицировании лигатурой ФСМг6-2. Микроструктура ступени сечением 2 мм состоит из включений шаровидного графита в количестве примерно 2100 шт/мм^2 и феррито-перлитной металлической основы - 52 % феррита.

При внутриформенном модифицировании лигатурой ФСМг7-1 в ступени толщиной 2 мм формируется мелкодисперсная структура, состоящая из перлито-ферритной металлической основы (до 40 % феррита) и шаровидного графита с плотностью распределения включений 1850 шт/мм^2.

При внутриформенном модифицировании лигатурой ФСМг6-3 в ступени толщиной 2 мм, несмотря на более низкий уровень ферритизации (до 20 % феррита), в отличие от лигатур ФСМг6-2 и ФСМг7-1, образовалось большое количество графитовых включений – 2035 шт/мм^2.

С повышением графитизирующей способности лигатур твердость высокопрочного чугуна снижается и наиболее высокая твердость наблюдается у высокопрочного чугуна, модифицированного лигатурой ФСМг6-3, которая в сечении 2 мм достигает 2600 МПа, что связано с высоким содержанием перлита в структуре. Близкая по величине твердость получена при внутриформенном модифицировании лигатурами ФСМг6-2 и ФСМг7-1, что объясняется небольшим отличием их структуры. В сечениях 2 мм твердость находится на уровне 2400-2460 МПа. В более толстых сечениях твердость закономерно снижается до 1940-2100 МПа.

Определены параметры процесса внутриформенного модифицирования для получения из высокопрочного чугуна отливок с минимальной толщиной стенки 2-4 мм с мелкокристаллической структурой и повышенными механическими свойствами.

УДК 669.131.7

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Д. Н. Берчук, Л. А. Зеленая

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

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАРГАНЦА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Изменяя содержание марганца в высокопрочном чугуне можно регулировать соотношение перлит/феррит в металлической основе и уровень прочностных свойств отливок. Марганец снижает активность углерода в расплаве, уменьшает количество образующихся включений шаровидного графита, тормозит графитизацию и способствует отбелу тонкостенных отливок. С повышением содержания марганца увеличивается количество и дисперсность перлита, повышаются прочность и твердость, снижается пластичность высокопрочного чугуна. Марганец повышает устойчивость цементита в составе перлита, затрудняя его распад при отжиге отливок. Для увеличения количества перлита в металлической основе, прочности и твердости высокопрочного чугуна содержание марганца в нем повышают до уровня 0,7–0,9 %.

Лабораторные плавки проводили в индукционной электропечи емкостью 10 кг. В качестве шихты использовали переплав чушкового передельного чугуна марки ПЛ2 (50 %) и возврата высокопрочного чугуна (50 %). Для получения планируемого содержания марганца в конце плавки в индукционную печь вводили расчетное количество ферромарганца ФМн75.

Влияние содержания марганца в пределах 0,35-1,30 % на структуру высокопрочного чугуна изучалось на шлифах, вырезанных из ступеней технологической пробы размером 60×60 мм и толщиной сечений на модели 1,5; 2,5; 5; 10; 15 мм.

В условиях проведенного исследования при содержании марганца 0,35…0,7 % получили все ступени без цементита. При содержании марганца 1,0 % количество цементита в середине ступени толщиной 2 мм составило 8 %, а у края 20 %. При содержании марганца 1,3 % в структуре ступени толщиной 2 мм по всей площади шлифа от середины до края количество цементита составило 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 внутри-

форменного 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 % количество включений шаровидного графита в структуре ступенчатой пробы уменьшается на ~30 %, а количество перлита в металлической основе повышается в 2,5-4 раза.

Влияние марганца на механические свойства модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна определяли на образцах изготовленных из стандартных клиновидных проб толщиной 25 мм. Параллельно проводили количественный металлографический анализ структуры в клиновидных пробах.

Исходный чугун выплавляли в индукционной электропечи ИСТ-016 используя шихту, состоящую из 85 % передельного чушкового чугуна марки ПЛ2, 10 % отходов электротехнической (динамной) стали и 5 % ферросилиция ФС45.

При содержании в высокопрочном чугуне 0,4…1,8 % марганца цементит при кристаллизации в структуре клиновидных проб не образовывался. Исходный высокопрочный чугун с содержанием 0,4 % Mn и металлической основой из 85-95 % феррита имел пределы прочности при растяжении ($\sigma_в$) 500 МПа и текучести ($\sigma_{0,2}$) 370 МПа, твердость (НВ) 1620 МПа и высокие показатели относительного удлинения (δ) 17 % и ударной вязкости (КС) 90 Дж/см^2. С повышением содержания марганца увеличивается количество перлита в металлической основе, повышается прочность и твердость, снижается относительное удлинение и ударная вязкость. Благоприятное сочетание прочности и пластичности достигается при содержании 1,0…1,3 % Mn: $\sigma_в$=550-580 МПа; $\sigma_{0,2}$=400-440 МПа; δ=6-10 %. При дальнейшем повышении содержания марганца до 1,8 % значительно повышаются прочностные показатели: $\sigma_в$=650 МПа; $\sigma_{0,2}$=520 МПа, но относительное удлинение снижается до 2-3 %, а ударная вязкость до 10-15 Дж/см^2.

УДК 621.74.02:669.13

В. Б. Бубликов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Прогрессивным направлением развития современного машиностроения является расширение использования литейных технологий и материалов для изготовления металлоизделий взамен заготовок получаемых прокаткой, ковкой и горячей штамповкой. Методы литья позволяют получать сложные пространственные конструкции деталей машин с внутренними полостями и каналами при минимальном объеме механической обработки. Наиболее распространенным литым конструкционным материалом является чугун. В структуре мирового выпуска литья чугунные отливки составляют 75%, стальные – 9 %. В структуре выпуска чугунного литья происходит значительное изменение – производство отливок из серого чугуна (СЧ) с пластинчатым графитом быстро снижается и непрерывно растет выпуск отливок из высокопрочного чугуна (ВЧ) с шаровидным графитом. В США и других технологически развитых странах отливки из ВЧ в общем выпуске чугунного литья составляют 50-70 %. Сферы применения ВЧ постоянно расширяются. Он открывает большие, по сравнению со сталью, возможности улучшения конструкции, уменьшения массы, снижения цены, повышение ресурса работы.

Действующие в Украине технологии высокопрочного чугуна устарели и не отвечают современным требованиям по экологии, стабильности результатов модифицирования, экономичности. Недостаточно модифицированный расплав чугуна в процессе кристаллизации переохлаждается до температур, находящихся ниже температуры образования цементитной эвтектики (ледебурита), что приводит к образованию отбела, повышению усадки и резко ухудшает обрабатываемость резанием. Для получения заданных структуры и свойств возникает необходимость применения энергоемкой термической обработки – графитизирующего отжига с целью разложения образовавшейся в процессе кристаллизации цементитной фазы.

Целью проводимых НИР являлось создание научных и технологических основ высокоэффективных методов модифицирования высокоуглеродистых расплавов в предкристаллизационном периоде, обеспечивающих увеличение ко-

личества образующихся сферокристаллов графита, предотвращение перехода на метастабильный механизм кристаллизации с образованием нежелательной цементитной фазы, измельчение структуры, что в совокупности способствуют повышению технологических, механических, служебных свойств изделий из ВЧ и ресурсосбережению в процессе их производства.

В результате комплекса проведенных исследований отделом высокопрочных и специальных чугунов Физико-технологического института металлов и сплавов (ФТИМС) НАН Украины разработан ряд высокоэффективных экономичных технологий получения отливок из высокопрочного чугуна.

Преимущества разработанных технологий:

- модифицирование расплава магниевой лигатурой осуществляется в литейных формах без пироэффекта и дымовыделения;

- расход магниевой лигатуры снижается в 2…3 раза по сравнению с модифицированием в ковше;

- позднее модифицирование в предкристаллизационном периоде интенсифицирует графитизацию, предотвращает образование отбела в тонкостенных отливках с минимальной толщиной стенки 2,5…3 мм и позволяет получать плотные отливки толщиной до 10…15 мм без применения питающих бобышек;

- отсутствует характерная для ковшовых технологий проблема потери эффекта модифицирования;

- предусмотрена эффективная фильтрация расплава от продуктов реакции модифицирования;

- производимые отливки характеризуются высокой стабильностью структуры и механических свойств, выдерживают испытание на герметичность давлением 45…55 МПа, хорошо (на уровне серого чугуна СЧ20) обрабатываются резанием на станках-автоматах;

- обеспечивается получение марок высокопрочного чугуна ферритного класса без применения термической обработки;

- экономия от внедрения разработанных технологий достигается за счет снижения расхода магниевой лигатуры, повышения выхода годного, улучшения качества, ликвидации операции энергоемкого графитизирующего отжига, повышения служебных свойств изделий.

Высокая эффективность разработанных технологий подтверждена в условиях массового, серийного и мелкосерийного производства отливок из высокопрочного чугуна для автомобилей, двигателей внутреннего сгорания компрес-

соров, тракторов, гидромашин, печатных машин, ткацких станков, военной техники, железнодорожного транспорта и др.

Приглашаем к взаимовыгодному сотрудничеству по реализации наших технологических разработок в области высокопрочных чугунов.

УДК 621.74.011:669.35:532.64.08

А. М. Верховлюк, Ю. М. Левченко, Д. С. Каниболоцкий

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

СМАЧИВАНИЕ ОГНЕУПОРОВ РАСПЛАВАМИ СИСТЕМЫ Cu–Zn–Mn

Добавка марганца повышает твердость латуней без увеличения хрупкости. При этом они проявляют высокую прочность, хорошо обрабатываются давлением в горячем и удовлетворительно в холодном состояниях. Кроме того марганец заметно повышает коррозионную стойкость латуней в морской воде, хлоридах и перегретом паре. Поэтому сплавы системы Cu–Zn–Mn получили широкое применение в судостроении.

Для получения такого типа сплавов важно правильно подобрать материалы плавильных тиглей и форм, чтобы минимизировать взаимодействие расплава с твердой поверхностью. Известно, что медь плохо смачивает графит, алунд и кварцевое стекло. Однако добавки цинка и марганца в некоторой степени повышают адгезионное взаимодействие. В настоящее время проводится экспериментальное изучение смачивания указанных материалов жидкими сплавами Cu–10вес.%Zn–(0-2)вес.%Mn. Для интерпретации полученных данных, а именно для оценки степени отклонения от идеальных растворов, и для отработки методики расчета свойств трех- и многокомпонентных систем по данным для чистых компонентов был проведен литературный обзор процессов смачивания жидкими медью, цинком, марганцем и их сплавами графита и оксидов алюминия и кремния. Выбраны наиболее достоверные литературные данные, построены температурные зависимости контактных углов смачивания (θ). Показано, что в интервале температур от 1080°C до 1600°C θ жидкой меди на поверхностях алунда, кварцевого стекла и графита описывается соответствующими уравнениями: $\theta = 223{,}34 - 0{,}08072 \cdot t$; $\theta = 214{,}49 - 0{,}06333 \cdot t$ и $\theta = 142{,}32$, где t – температура в °C, а смачивание тех же подложек жидким цинком при температуре от 500°C до 700°C представляется соответственно зависимостями: θ =

$51,36 + 0,3039 \cdot t – 0,000293504 \cdot t^2$; $\theta = 242,27 – 0,1861 \cdot t$ и $\theta = 76,82 + 0,25114 \cdot t – 0,000263056 \cdot t^2$. Эти уравнения могут быть использованы для экстраполяции θ на более высокие температуры, включая область перегретого жидкого цинка (температура кипения равна 906,2°C). Следует отметить, что на алунде и графите при температурах 1183°C и 1198°C, соответственно, температурные зависимости θ пересекают ось абсцисс, т.е. краевой угол смачивания становится нулевым. Поэтому для более высоких температур надо брать значение θ = 0, а не отрицательные значения, получаемые из уравнений. Не выявлена зависимость от температуры краевого угла смачивания Al_2O_3 и графита жидким Mn, т.е. для этих подложек стоит использовать средние значения θ из всех экспериментальных данных: 78,25 град. при от 1300°C до 1600°C и 139 град. при 1550°C, соответственно. Литературных данных по смачиванию кварцевого стекла жидким марганцем не обнаружено. Смачивание графита расплавами Cu–Mn от 0 до 55 ат. % Mn при 1120°C описывается зависимостью $\cos\theta = – 0,81224 + 5,56468 \cdot X_{Mn} – 4,09678 \cdot X_{Mn}^2$, а при 1225°C – уравнением $\cos\theta = – 0,72953 + 6,07151 \cdot X_{Mn} – 5,34687 \cdot X_{Mn}^2$, где X_{Mn} – атомная доля Mn. При добавке к меди 5 ат. % марганца θ на Al_2O_3 резко снижается, после чего дальнейшее увеличение концентрации Mn мало влияет на изменение θ. Так, при 1100°C и при X_{Mn} от 0,05 до 0,45 θ = 103,4 ± 3 град., тогда как для чистой меди при той же температуре θ = 135 град. При 1200 °C в том же концентрационном интервале θ описывается уравнением $\cos\theta = – 0,15722 – 0,3870 \cdot X_{Mn} + 1,89255 \cdot X_{Mn}^2$, а при 1300°C – уравнением $\cos\theta = – 0,08734 + 0,65021 \cdot X_{Mn}$.

Из значений cosθ для чистых компонентов по аддитивности рассчитаны краевые углы смачивания указанных твердых материалов расплавами Cu–10 вес.%Zn; Cu–10%Zn–1,5%Mn и Cu–10%Zn–2%Mn при температурах от 1070°C до 1250°C. Рассчитанные значения θ для сплавов Cu–10%Zn хорошо согласуются с экспериментальными данными для всех использованных подложек. Для сплавов Cu–10%Zn–(1,5-2)%Mn расчетные значения согласуются с экспериментальными только для графита, тогда как для системы Cu–Zn–Mn–Al_2O_3 они оказываются завышенными. Для получения удовлетворительных расчетных данных по этой системе в уравнение надо вносить поправку, равную разнице между значением cos θ для чистой меди и для расплава Cu–Mn с соответствующей концентрацией марганца.

УДК 621.746.6:619.35:537.311/312

А. М. Верховлюк, М. І. Науменко, Ю. М. Левченко, Р. А. Сергієнко

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

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІДІ ІЗ ЗАДАНОЮ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ

Металічні сплави на основі міді із заданим рівнем електропровідності широко використовуються в різних галузях техніки, а саме: електротехніка, суднобудування, машинобудування, приладобудування, виробництва монет та інших галузях [1]. Дана характеристика введена в ДСТУ, як одна з важливих фізичних властивостей при контролі якості сплавів на основі міді. Наприклад стосовно ідентифікації монет в торгівельних автоматах поряд з їх геометричними розмірами та вагою використовується електропровідність сплаву [2]. З метою захисту монет від підробок для українських монет був виділений і узгоджений з Єврокомісією інтервал електропровідності 17-19 % IACS (9,9 -11 МСм/м).

Існує ряд факторів, які впливають на електропровідність – це фазовий, хімічний склад, модифікування, швидкість охолодження, термопластична обробка, які впливають на зеренну структуру та інш. [3]. Дана робота присвячена вивченню впливу легуючих, модифікуючих елементів, швидкості охолодження та термообробки на електропровідність сплавів на основі міді. Було досліджено вплив добавок нікелю, алюмінію на цю характеристику. Встановлено, що концентрація Al, Ni в невеликих кількостях (до 1 мас. %) в міді знижує її електропровідність в 2-2,5 рази. Що стосується твердості сплавів з високим вмістом легуючих елементів, а саме: Cu-50%Ni та Cu-13%Al, то вона зростає в 1,5 і 4,5 рази відносно подвійних систем, які містять по 0,5 мас. % Ni та Al. Встановлено, що нікель знижує електропровідність міді в усьому дослідженому діапазоні концентрацій, і при 40 % Ni електропровідність зменшується до 4 % IACS (2,3 МСм/м), причому найбільш помітне зменшення електропровідності (до 17 % IACS (9,9 МСм/м)) спостерігається вже при вмісті нікелю 10 мас. %. Добавка алюмінію у мідь також знижує електропровідность, яке сягає значення 17,5 % IACS (10,2 МСм/м) при 5 мас. % Al. Подальше збільшення концентрації алюмінію до 13 мас. % не завдає суттєвого впливу на електропровідність.

Відпал зразків при 800 °С протягом 2 годин на 10-25 % підвищує електропровідність зразків з концентрацією легуючих елементів до 5 мас.% (Al, Ni), а

подальше збільшення кількості легуючих елементів приводить до незначного підвищення електропровідності зразків після термообробки.

Встановлено взаємозв'язок швидкості охолодження при кристалізації сплавів систем Cu-Zn-Mn та Cu-Zn-Ni з електропровідністю. Підвищення швидкості охолодження призводить до підвищення цієї характеристики. Різниця цих значень для зразків сплавів, які було закристалізовано з різною швидкістю, стає більш помітною після проведення термічної обробки. Так електропровідність відпалених зразків, зі сплаву, закристалізованого зі швидкістю порядку 2-3 К/с, приблизно на 1 % IACS (0,58 МСм/м) менше, ніж у відповідних зразків сплаву, закристалізованого при 80-90 К/с.

Встановлено, що необхідний рівень електропровідності може бути досягнутий лише завдяки комплексному легуванню різними елементами. Для отримання зразків сплавів на основі міді з заданою електропровідністю можна рекомендувати швидкості охолодження вище 60 °С/с.

Список літератури

1. *Тихонов Б. С.* Тяжелые цветные металлы и сплавы. Справочник. Том I – М.: ЦНИИЭИцветмет, – 1999. – 453с.
2. *Плитченко В. В., Шумихин В. С., Петрина Г. В.* Удельная электропроводимость как функциональный параметр монетных сплавов // Металл и литье Украины, – 2007, – №8. – С. 30-34.
3. Copper alloy for electronic material: Заявка 1873267 ЕПВ, МПК C 22 C 9/06 (2006.01), C 22 F 1/08 (2006.01). № 06729790.3; Заявл. 23.03.2006; Опубл. 02.01.2008.

УДК 669.715:546.621.541.12.017

Гаврилюк К.В., Гаврилюк В.П., Бондаревский В.Н.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ВЛИЯНИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ

Заэвтектические силумины являются материалом, нашедшим широкое применение в двигателестроении (монолитные блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, цилиндро-поршневая группа, насосы системы охлаждения). Помимо этого, заэвтектические силумины являются основой создания композитных литых материалов той же области применения. При определённых параметрах этот материал может использоваться в деформационных технологических процессах.

Микроструктура заэвтектических Al-Si сплавов состоит из кристаллов первичного кремния, основной эвтектической составляющей (Al-Si), возможного ряда эвтектик в незначительном количестве (связано с легированием сплава) и при формировании в неравновесных условиях содержит α-Al фазу.

Общая доля литья из силуминов составляет примерно 90% от всех литых алюминиевых сплавов. В значительной степени ресурс повышения свойств этой группы сплавов в рамках традиционных технологий исчерпан. Основные проблемы, требующие решений – это минимизация размеров кремниевых фаз и устойчивая регламентированное формирование неравновесной α-Al фазы.

Это возможно при использовании перспективной технологии обработки расплава модифицирующими микрокристаллическими фосфорсодержащими лигатурами на основе медь-фосфористого сплава, лигатурами Al-P, Al-Cu-P, мастер- сплавами Al-Si, полученными по специальной технологии.

В настоящей работе рассмотрено влияние перечисленных модифицирующих лигатур на формирование структуры заэвтектического силумина AlSi19Cu3 в сравнении с обработкой стандартной медь-фосфористой лигатурой.

В качестве оценочных параметров микроструктуры заэвтектического силумина были приняты доля включений кристаллов первичного кремния длиной до 30 мкм (таблица 1) и линейные размеры, площадь, периметр и количество включений на единицу площади (всего 9 параметров, программная оценка), данные приведены в таблице 2.

По характеру воздействия предполагается задействование механизма зародышеобразования на основе соединения Al-P с параметрами кристаллической решётки, близкими к параметрам решётки первичного кремния. Как видно из приведенных данных, все использованные для обработки расплава заэвтектического силумина модифицирующие лигатуры обладают высокой эффективностью, однако степень диспергирования структуры значительно выше в случаях использования микорокристаллической Al-Cu-P лигатур и мастер-сплава.

Следует отметить необходимость применения технологического временного диапазона для усвоения как стандартной так и микрокристаллической лигатур Cu-P (до 30 минут). Однако равномерность распределения включений первичного кремния при использовании микрокристаллической лигатуры выше.

Таблица 1. Общая и кумулятивная доля кристаллов первичного кремния в заэвтектическом силумине AlSi19Cu3 при разных способах обработки (условная граница дисперсности кристаллов первичного кремния не выше 30 мкм).

Способ обработки сплава	Доля включений в образце толщиной 20 мм	Доля включений в образце толщиной 12 мм	Доля включений в образце толщиной 6 мм
	Кумулятивный %	Кумулятивный %	Кумулятивный %
Стандартная лигатура	38	54	97
Микрокристаллическая лигатура	85	92	100
Мастер-сплав	98	100	100
Лигатура Al-Cu-P	97	100	100

Использование приведенных лигатур может быть рекомендовано для применения в технологических процессах изготовления из заэвтектических силуминов деталей ответственного назначения, таких как монолитные блоки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, поршни, гильзы цилиндров и пр.

Таблица 2. Количественная характеристика параметров кристаллов первичного кремния и α-фазы при разных технологических воздействиях на расплав и скоростях кристаллизации (толщине образцов)

№ п/п	Толщина образца, мм	Среднее количество включений КПК , шт/см^2	Средняя относит. площадь КПК в структуре, %	Средний периметр КПК, мкм	Средняя длина КПК, мкм	Средняя ширина КПК, мкм	Средняя площадь КПК, мкм^2	Среднее отношение осей КПК	Средняя округленность (roundness) КПК	Средняя относит. площадь α-фазы в структуре, %	Технологическое воздействие на расплав
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	20	175	8,31	91,81	29,99	19,86	475,1	1,78	1,81	23,56	Стандартная Cu-P лигатура
2	12	224	7,58	73,95	25,14	16,23	339	1,88	1,65	22,51	Стандартная Cu-P лигатура
3	6	365	7,93	58,72	20,13	13,33	217,1	1,78	1,55	23,85	Стандартная Cu-P лигатура
4	20	342	11,75	72,08	25,32	16,05	343,8	1,87	1,58	30,63	Микрокристаллическая Cu-P лигатура
5	12	435	8,86	55,3	19,21	12,45	203,8	1,87	1,56	33,21	Микрокристаллическая Cu-P лигатура
6	6	755	8,78	41,79	14,76	9,8	116,3	1,72	1,42	33,73	Микрокристаллическая Cu-P лигатура
7	20	325	8,45	64,68	22,06	14,84	274,07	1,7	1,53	27,26	Лигатура Al-Cu-P
8	12	447	8,15	50,91	17,77	11,46	183,85	1,83	1,51	29,94	Лигатура Al-Cu-P
9	6	450	8,43	52,39	18,05	12,69	187,41	1,59	1,41	31,01	Лигатура Al-Cu-P
10	20	596	8,4	46,08	16,37	10,63	140,74	1,8	1,44	35,35	Мастер-сплав
11	12	739	7,67	42,55	14,37	9,4	103,82	1,76	1,67	34,82	Мастер-сплав
12	6	1030	6,99	36,43	12,03	7,85	67,85	1,74	1,84	36,61	Мастер-сплав

УДК 669.71:532.694:539.216

С. В. Гнилоскуренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВСПЕНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

Пенометаллы, как новый класс конструкционных материалов, привлекательны для промышленности своим малым удельным весом, уникальным комплексом физико-механических свойств и хорошей технологичностью. Однако на данном этапе их производство ограничено, в частности, по причине несовершенства ячеистой структуры – неоднородности размеров пор по объему получаемых образцов, что ухудшает их характеристики.

Особенно актуальна эта проблема при получении металлических пен наиболее экономичными жидкофазными методами, когда расплавы металлов вспениваются введением реагентов, разлагающихся с выделением газа. Это обусловлено тем, что такая газо-металлическая система является очень нестабильной [1]. При поступлении газа в расплав и росте пузырьков даже при увеличении вязкости металла с помощью различных технологических приемов значительно ускоряются процессы разрушения пены - гравитационный сток жидкости (дренаж) и слияние (коалесценция) пузырьков, которое происходит после утонения жидких перемычек до критической толщины (40-100 мкм) в результате их спонтанного и практически мгновенного разрыва (~33-55 мсек) [2].

Со времен патентования первых методов получения пенометаллов [3] предлагались различные подходы для обеспечения стабилизация вспененных расплавов. Увеличение кажущейся вязкости жидких металлических перегородок между пузырьками достигалось введением твердых частиц [4], шлаков [5] в расплав, захватом воздуха при его перемешивании [6] либо при принудительной продувке газом (воздухом, O_2, CO_2) с образованием оксидов [7].

В более поздних разработках для этих целей применялось введение Ca в расплав перед вспениванием [8], что привело к разработке в Японии торговой марки пенометалла «Альпорас» [9]. Метод был значительно удешевлен применением карбоната кальция [10], использование которого кроме вспенивания обеспечило и определенную стабилизацию высокопористой структуры [11]. Также предложено применение частиц Al, SiC (в том числе, наноразмерных)

для вспенивания алюминиевых расплавов [12 - 14], углеродных волокон, покрытых медью – для чистого Al и Al-Mg сплавов [15].

Несмотря на положительные результаты, лишь некоторые технологии получения пенометаллов из расплавов сегодня находят ограниченное применение ввиду высокой стоимости конечной продукции.

Список литературы

1. *Гнилоскуренко С.В.* Рідкофазні методи одержання високопористих металів з комірковою будовою // Сборник тезисов конференции «Литье-2010».-С. 119-120.
2. *Stanzick H.* et al. // Adv. Eng. Mater. – 2002. – № 4. – P. 814-818.
3. *Sosnik*, US Patent 2434775, 1948.
4. J. *A. Ridgway*, Cellarized metal and method of producing same, USA Patent 3,297,431, 1967 (1965).
5. *C. P. Jarema, L. M. Niebylski*, Method for quietly casting foamed metal, USA Patent 3,719,223, 1973 (1971) (similar to US 3,826,303).
6. *L. G. Graper*. Method of making metal foam, USA Patent 3,379,517, 1968 (1965).
7. *C. B. Berry*. Foamed metal, USA Patent 3,669,654, 1972 (1970).
8. *S. Akiyama* et al., Foamed metal and method of producing same, European Patent
0 210 803, 1989 (1986).
9. *T. Miyoshi* et al. Aluminium foam 'ALPORAS': the production process, properties and applications. // Porous and Cellular Materials for Structural Applications (Eds: D. S. Schwartz et al.) Materials Research Society, Warrendale 1998, p. 133.
10. *T. Nakamura, S. V. Gnyloskurenko* et al. Development of New Foaming Agent for Metal Foam // Materials Transactions. - 2002. - 43. - P. 1191-1196.
11. *S.V. Gnyloskurenko* et al. Advanced Structure and Deformation Pattern of Al Based Alloys Foamed with Calcium Carbonate Agent // Porous Metals and Metallic Foams (ed. by L.-P. Lefebvre et al.) National Research Council of Canada - 2007. - P. 399 - 402.
12. *K. Kadoi, H. Nakae* // Mater. Trans. 2011, 52, 1912.
13. *W. M. Zhao* et al.//Adv. Mater. Res. 2011, 214, 70.
14. *A. H. Brothers, J. Banhart*, Process for manufacture of metal matrix nanocomposite and its application), German Patent 10 2007 044 565, 2011 (2007).
15. *Z. K. Cao, J. J. Du, G. C. Yao* // Mater. Sci. Forum 2010, 650, 320.

УДК 621.746.558.086.4

А. В. Гресс, Я. А. Сорока

Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ ВАННЫ В ЛИТЕЙНЫХ КОВШАХ ПРИ ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПЕРЕГОРОДКИ

На современном этапе развития литейного производства Украины особенно актуальным становится вопрос повышения конкурентной способности литой продукции. Выходом из создавшегося положения является совершенствование технологий, направленных на повышение качества отечественного литья. Использование современных методов внепечной обработки литейных расплавов определяет необходимость поиска рациональных решений, направленных на обеспечение ресурсо- и энергосбережения.

Повышенная скорость теплоотдачи в литейных ковшах (по сравнению с большегрузными) вызывает необходимость уменьшения времени процесса дополнительной обработки расплава, а, следовательно, увеличения интенсивности потоков метала посредством применения дополнительных способов перемешивания. Одним из наиболее распространенных способов решения такой задачи является продувка металла инертным газом. В силу известной специфики литейных ковшей продувка снизу во многих случаях либо невозможна либо нецелесообразна. Но и верхняя продувка также имеет ряд недостатков, связанных с несовершенством гидродинамики ванны в литейных ковшах. Решить такую задачу возможно применением, например, различного рода рассеивающих и фильтрующих перегородок в совокупности с верхней продувкой аргоном. К сожалению, подобные задачи в металлургии пока не решались и поэтому соответствующая информация о полных динамических характеристиках расплава в настоящее время весьма необходима. На первоначальном этапе для ее получения целесообразно использовать физическое моделирование.

Физическое моделирование осуществляли с помощью созданной нами прозрачной экспериментальной установки, выполненной в масштабе 0,6 реального 1-тонного ковша. Поскольку моделируемая среда является гетерофазной (жидкость, газ), масштаб модели определяли с помощью числа Лапласа. Для пересчета количественных характеристик скоростей перемещения моделирующей

гетерофазной среды и времени гомогенизации на реальные характеристики использовали модифицированное число Фруда и гомохронности, соответственно.

Моделировали процесс обработки расплава посредством его продувки в ковше инертным газом одно- или многопоточной погружной фурмой с размещенной на ней фильтрующе-рассеивающей перегородкой. Устройство можно перемещать в зависимости от задач эксперимента с помощью разработанных механических креплений.

В качестве моделирующей среды использовали воду. Индикаторами движения жидкостных потоков являлись полистироловые шарики диаметром 1-1,5 мм, имеющие нулевую плавучесть (метод «трассеров»). Полученную картину фиксировали на цифровую видеокамеру и обрабатывали на ПЭВМ.

В процессе экспериментов меняли расположение фильтрующе-рассеивающей перегородки относительно уровня металла в ковше, ее размеры и газопропускную способность, конфигурацию выходных сопел фурмы.

Проведенные исследования позволили определить, что фильтрующе-рассеивающая перегородка рациональной конструкции способствует улучшению гомогенизации металлической ванны и способствует уменьшению количества неметаллических включений.

УДК 669.183

О. В. Гресс, О. В. Степанов

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ЗАДАНОЇ ПОЛЯРНОСТІ, ЩІЛЬНОСТІ, ЧАСТОТИ І СКВАЖНОСТІ НА ЧАВУННИЙ ВИЛИВОК

Для підвищення якості металопродукції на фоні зниження її собівартості, велике значення має використання фізичних методів впливу на метал, що кристалізується. Одним з найсучасніших таких методів є накладення електричного струму.

Найбільше дослідів було проведено на легкоплавких металах і сплавах. Але були проведені експерименти і на сталях та чавунах. Знайдено, що обробка розплавів, які мали після затвердіння грубозернисту структуру, призводила до суттєвого подрібнення зерна. Менший ефект був отриманий на сталях і чавунах. На цей час у літературі відсутні достовірні теоретичні пояснення процесів, що

відбуваються у металах і сплавах, що кристалізуються під впливом електричного струму [1], у тому числі різної полярності та частоти.

Нами проведені експерименти по вивченню макроструктури чавуну під впливом електричного струму прямої полярності з заданої щільності та частоти. Отже, тема роботи є вельми актуальною.

Чавун марки СЧ20 розплавляли у печі Таммана, заливали у дві однакові форми крізь спільну ливникову систему з метою забезпечення рівних умов кристалізації. На один з виливків впливали електричним струмом прямої полярності заданої частоти і сквапності. Після остигання виливки розрізали, ретельно шліфували та вивчали під мікроскопом МИМ–7.

Знайдено, що у дослідному зразку відбулося подрібнення зерна, форма графіту змінилась до більш глобулярного.

Список літератури

1. Специальные способы литья [Текст]: справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др.; под общ. ред. В. А. Ефимов. — М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.

УДК 669.18

А. В. Гресс, С. А. Стороженко

Днепродзержинский государственный технический университет,

Днепродзержинск

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОИСК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЪЕМЕ ЛИТЕЙНОГО КОВША

Решение задачи повышения качества подготовки расплава к разливке возможно не только на основе исследований и анализа гидродинамики, тепло- и массообмена жидкого металла в литейных ковшах, создания сопряженных математических моделей для моделирования влияния технологических факторов и разработки технологических приемов подготовки выплавленного металла к разливке, но и получении достоверной информации об оптимальных условиях ввода дополнительных реагентов.

Для этого следует определить место расположения в объеме металла локальных областей с наибольшими абсолютными значениями скоростей потоков

жидкого металла и расположение застойных зон, в которые крайне нежелательно вводить реагенты. С этой целью следует решить задачу многопараметрической оптимизации.

В настоящее время в металлургии практически не существует систем, которые полностью оптимизированы. Причиной является чрезвычайная сложность определяющих процессов, их зависимость от многих параметров, большинство из которых либо мало, либо совершенно не изучены. Как правило, такие процессы не подчиняются линейным зависимостям и носят экспоненциальный или экстремальный характер.

Несомненно, что локальных экстремумов может быть множество. Следовательно, обычные методы решения задач оптимизации, разработанные при условии наличия в рассматриваемом многомерном пространстве одного экстремума, в данном случае совершенно неприемлемы из-за сильной зависимости от выбора начальной точки поиска оптимума. Поэтому все более широкое применение находят задачи поиска глобального экстремума.

В настоящее время в процессе решения задач оптимизации целесообразно использовать максимально доступные в эксплуатации лицензированные программные комплексы. Одним из таких комплексов является Solver – приложение MS Excel 2010, которая содержит целый спектр оптимизационных программ. Одна из них – эволюционный метод решения негладкой оптимальной функции, использующий генетический алгоритм, методы локального поиска и другие.

Генетические и эволюционные алгоритмы оптимизации являются алгоритмами случайно-направленного поиска и применяются в основном там, где стоит задача оптимизации недифференцируемой функции или задача многоэкстремальной глобальной оптимизации, что и является особенностью исследованных процессов.

При решении задачи оптимизации с помощью эволюционных методов предполагается, что его целью является нахождение объекта с некоторыми свойствами. Как правило, поиск производится среди конечного (иногда и бесконечного) множества объектов (потенциальных решений).

Активный численный эксперимент проводился по плану ортогонального центрального композиционного планирования второго порядка с использованием в качестве параметров садки ковша, интенсивности подачи газа на барботирование металла, пространственных координат расчетных областей. Требовалось

найти лучший, насколько это возможно при принятых ограничениях, объект, в частности, гидрогазодинамические и пространственные параметры литейных ковшей.

Таким образом, на основании использования результатов расчетов нелинейных многопараметрических регрессионных уравнений:

1. Найдены количественные закономерности зависимости скоростей потоков металла в любой точке объёма литейных ковшей от садки и интенсивности подачи газа.

2. Определено, что при неизменной интенсивности продувки скорость гомогенизации расплава в ковшах малой садки будет выше, чем в крупных ковшах, а по мере роста садки ковша влияние интенсивности подачи газа на время гомогенизации уменьшается.

3. Найдено местоположение глобальных экстремумов абсолютных значений скоростей потоков металла (оптимальные и нежелательные места ввода дополнительных материалов) в объемах металла различных литейных ковшей, барботируемых инертным газом с заданной интенсивностью.

УДК 621.74

О. В. Гресс, А. В. Тимофєєва

Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАДЛИВІВ (або ТЕХНОЛОГІЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАДЛИВІВ ІЗ РІЗНИХ СПЛАВІВ)

Правильний вибір конфігурації, місця установки і методу розрахунків надливів є запорукою отримання якісних щільних виливків з необхідним рівнем технологічних властивостей, збільшення виходу придатного, зниження браку виливків і, як наслідок, собівартості литва.

На даний момент відомо багато різних інженерних методик розрахунку надливів, але, на жаль, немає надійних, які однозначно гарантували б позитивний результат. Деякі застосовні тільки до конкретних випадків (певна конфігурація надливу, вид лиття, тип сплаву тощо), а деяким характерна універсальність. Частина з них зв'язує приведений розмір виливка і надливу, частина - об’єм надливу і виливка. Більшість методик розроблені емпіричним або напівемпіричним

шляхом. Доволі часто розрахунки по різним методам дають доволі спірні й мало порівняльні результати.

Нами були розглянуті наступні методи:

- вписаних сфер (кіл);
- Пржібла;
- Попова А.Д.;
- Василевського П.Ф.;
- спрощений метод УЗТМ;
- комплексний метод (Репях С.І.);
- «американська» методика;
- Вигоднера Л.Ф.

Проведено порівняння даних методик. Результати розрахунків розмірів надливів за всіма методиками для невеликих теплових вузлів відрізняються незначно щодо усередненого значення. Але зі збільшенням об’єму теплового вузла збільшується і розбіг розрахованих показників, що призводить до сумнівів у правильності вибору конкретної методики.

Розглянуті нами методики, хоч і досить універсальні, доволі трудомісткі в обчислювальному плані та вимагають визначення деяких величин експериментальним шляхом. Для спрощення розрахунків та скорочення часу на визначення розмірів надлива було розроблено додаток в програмі Microsoft Excel. Розрахунок показників у додатку проводиться за декількома методиками, які найбільш використовуються. Вихідними даними служать:

- об’єм вузла;
- площа поверхні охолодження;
- марка сплаву;
- приведений розмір.

У процесі розрахунку користувачем обирається методика визначення надливу. На основі довідкового матеріалу, вбудованого в програму, підставляються потрібні коефіцієнти. Кінцевими даними розрахунків є об'єм надливу та оптимальні його геометричні параметри, визначені шляхом використання оптимізаційного методу нелінійного узагальненого градієнта, що знижує, за розробленою нами методикою.

Список літератури

1. Галдин, Н. М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок [Текст] / Н. М. Галдин, В. В. Чистяков, А. А. Шатульский. – М. : Машиностроение, 1992. – 256 с.
2. Нехендзи, Ю. А. Стальное литье [Текст]. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1948. – 767 с.
3. Мащенко, А. Ф., Щекин А.В. Прибыли для фасонных отливок [Текст] : учеб. пособие / А. Ф. Мащенко, А. В. Щекин. – Хабаровск : Изд-во Тихоок. гос. ун-та, 2012. – 30 с.

УДК 621.746.62:669.189

О. В. Гресс, О. О. Чеботарьова

Дніпродзержинський державний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВІДВОДУ ВІД СОРТОВОЇ ЗАГОТОВКИ В БУНКЕРІ ЗВО МБЛЗ

На цей час безперервне лиття є найсучаснішим способом розливання сталі, який відноситься до спеціальних способів лиття. На цей час у світі вже приблизно третина всієї сталі розливається на сортових машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). При високій якості підготовленого до розливання металу чи не найбільший вплив на ці показники має вторинне охолодження заготовки, яке, до того ж, є найпоширенішою причиною появлення дефектів. На даному етапі розвитку науки й техніки знаходження оптимальних параметрів охолодження сталевих злитків в бункері ЗВО МБЛЗ з урахуванням всіх факторів поки що неможливе.

Нами прийнято, що першим функціоналом, що впливає на оптимальний розподіл температурного навантаження на заготовку в межах бункера ЗВО, є відносні напруження, що розраховуються як відношення дійсних напружень до граничних. На відміну від інших математичних моделей, в нашій враховано вплив на напруження, крім зміни температури, також зміни хімічного складу металу під час процесу кристалізації, феростатичний напір металу, розташування направляючих та піддержуючих роликів вздовж технологічної осі МБЛЗ.

Другим функціоналом є ступінь ліквації хімічних домішок, яка розраховується при чисельному моделюванні. Як і в попередньому випадку, її значення повинно бути якомога меншим.

У якості параметрів, що визначають задані функціонали, використані температури перегріву, поверхні заготовки на виході з бункера ЗВО, швидкість розливання і концентрація вуглецю в ковшовій пробі.

Відповідні розрахунки проведені за планом ортогонального центрального композиційного планування, що дозволило отримати регресійні рівняння другого порядку.

Сумісне рішення отриманих рівнянь методом глобального пошуку екстремумів дозволило вирішити поставлену задачу стосовно МБЛЗ ДМКД.

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, Ю. Н. Иванов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,

ФОРМОВКА ПРИРАСТАЕТ КРИОТЕХНОЛОГИЕЙ

Машиностроение наращивает потребление отливок, объем мирового производства которых в 2012 г. достиг 100,8 млн. т. До 80% литья получают в песчаные формы, поэтому важно развитие теории и технологии литейной формы с учетом растущих требований экологии. Сегодня в 95 % форм зерна смеси перед уплотнением замешивают со связующим (часто с водой), которое смачивает, облицовывает - плакирует зерна наполнителя, образуя на них сплошную пленку. Вода, смачивая зерна кварцевого песка, сама является слабым связующим. При уплотнении эти пленочные оболочки связующего взаимно склеиваются, образуя манжеты, благодаря чему смесь приобретает прочность как адгезионно - когезионный комплекс, согласно общей концепции прочности дисперсных систем [1]. Зерна наполнителя, покрытые связующим, контактируют через слои пленок, а приготовление смеси перемешиванием и ее уплотнение связано с деформацией и разрушением одних клейких манжет образованием новых. Это требует значительных затрат на оборудование, оснастку и энергию для перемешивания и уплотнения смесей, или расходов на перевод смесей в жидкоподвижное состояние с их избыточным увлажнением и энергоемкой сушкой. Прочность смесей определяется прочностью манжет, а сплошная пленка

связующего не только склеивает зерна, но и покрывает их поверхность вокруг пор смеси, на которую расходуется основная часть связующего. Неплотное прилегание зерен песка не только тратит лишнее количество связующего, но и способствует пригару на отливке, поскольку огнеупорность пленки связующего, как правило, ниже, чем у песчинки.

Менее затратный способ приготовления и уплотнения смеси – при вакуумной формовке (ВПФ и ЛГМ) из сыпучей смеси свежего и отработанного песка без дорогостоящих формовочных машин и значительных энергозатрат. Приготовление смеси - вообще без смесителя добавлением свежего песка в систему оборотного охлаждения отработанной смеси часто на базе пневмотранспорта. Уплотнение сухой смеси - 20...90 с на вибростоле при стыковке зерен наполнителя своей поверхностью практически без пленок связующего. Отсюда, идея экономии расходов при перемешивании, уплотнении смеси и снижении связующего патентуется в способе формовки из сыпучих зерен (кварц. песка, порошка кристаллогидратов и льда). После смешивания минеральной основы из песка, гипса и/или цемента (или покупки ее в мешках), засыпание формовочной смеси на модель или в рабочую полость стержневого ящика совмещают с введением в эту смесь сыпучего зернистого льда путем смешивания - ссыпания струи зерен льда со струей зерен минеральной основы в один поток с одновременной вибрацией



формовочно-модельной или стержневой оснастки. Такой вариант смешивания позволяет быстро смешать и уплотнить зерна в сыпучем виде без или с минимальным таянием льда. Затем увлажнением от таяния льда и гидратацией кристаллогидратов (есть варианты) смесь твердеет до монолитного состояния в виде песчаной формы/стержня. Вибрация уменьшает внутреннее трение зерен до состояния «псевдожидкости», укладывая песчинки кварца в максимально возможный плотный каркас с размещением между ними при пористости 33...36% [2] частиц связующего и льда соответствующей крупности. Равномерность распространения влаги в смеси повышают ее капиллярным пе-

ремещением [3], которое еще называют капиллярным транспортом [4]. На фото показан «заводской» алюминиевый барельеф «Мефистофель», по которому выполнена полуформа из этой смеси с отпечатком достаточно высокого качества.

Список литературы

1. *Жуковский С. С., Ромашкин В. Н.* О «шаровой» модели формовочной смеси // Литейное производство, 1986. – №3. – С. 12-13.

2. *Шуляк В.С.* Литье по газиф-м моделям. – СПб.: Профессионал, 2007. – 408 с.

3. *Смоляницкий Л. А.* Капиллярное увлажнение грунтов земляных сооружений // Вестник ВГУ, серия: геология, 2012, № 1 с. 229-233.

4. *Либенсон Г.А.* Пр-ство порошковых изделий. – М.: Металлургия, 1990. – 240 с.

УДК 621.744.072.2

В. С. Дорошенко, К. Х. Бердыев

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА И МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВА МОДЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

Получение для ЛГМ пенополистироловых (ППС) моделей для единичных и серийных отливок различного развеса является наиболее трудоемким, влияющим на качество и стоимость отливки процессом. В настоящее время в литейных цехах для ЛГМ-процесса применяют автоклавы емкостью 100, 400, 700 и 1000 л. При использовании автоклава ГП-100 для получения моделей отливок развеса до 20 кг, или частей моделей крупного развеса, масса алюминиевых пресс-форм достигает 20…25 кг, а для автоклавов емкостью 400 и выше может достигать 100 кг. Это приводит к необходимости приложения большой физической силы при их загрузке и выгрузке в камеру автоклава, опускания и вынимания из камер охлаждения. Учитывая эти трудности, нами разработано оборудование - стол модельщика (рис.), облегчающее труд модельщика и снижающее расход воды для охлаждения извлеченных из камеры автоклава пресс-форм после спекания моделей.

Стол модельщика включает: складывающуюся рампу 1 с катками, противовесом и системой фиксации, рабочую площадку 2 для сборки-разборки и за-

дувки пресс-форм подвспененным ППС, емкость 3 для хранения и подачи на задувочный пистолет этого ППС, камеру охлаждения 4, бак 5 для охлаждающей воды с барботажем, насос 6 и систему распыления воды. Пресс-форма с рампы 1 на катках передается на рабочее место 2 с катковой поверхностью из вращающихся шариков, и в камеру охлаждения 4. Передняя и задняя стенки камеры охлаждения 4 открываются вверх и имеют противовесы, как и рампа 1, что уменьшает прилагаемые усилия для их поворота. Распылительные регулируемые устройства расположены на стенках и потолке камеры 4, их сопла имеют степень свободы для изменения угла по отношению к стенкам пресс-форм.

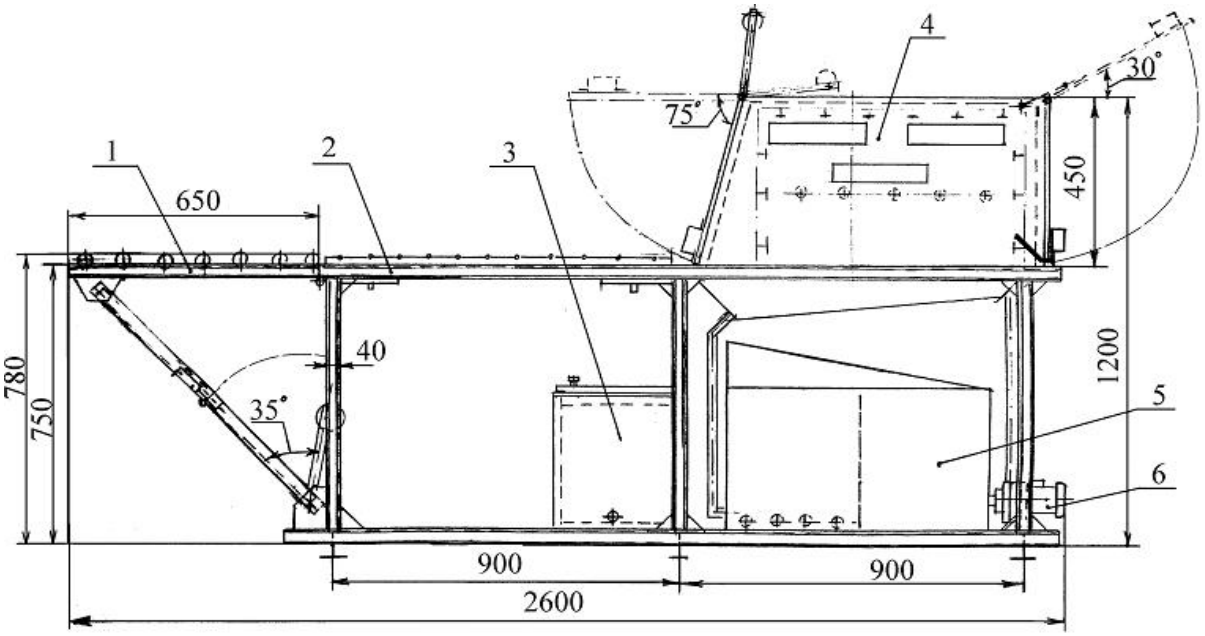


Рис. Стол модельщика: 1 - рампа складывающаяся; 2 - рабочая площадка; 3 - емкость; 4 - камера охлаждения; 5 - бак для охлаждающей воды; 6 - насос

Операция задувки, спекания, охлаждения имеют переходы в таком порядке: 1) после разборки и съема модели с пресс-формы необходимо сдуть влагу задувным пистолетом; 2) собрать пресс-форму, задуть пистолетом подвспененный полистирол; 3) сложить рампу и открыть дверцу камеры автоклава; 4) поднять рампу и закатить пресс-форму; 5) сложить рампу и закрыть дверцу, спечь модель; 6) после спекания при сложенной рампе открыть дверцу автоклава и камеры охлаждения; 7) поднять рампу и закатить пресс-форму по вращающимся каткам и шарикам рампы в камеру охлаждения; 8) закрыть стенки камеры и включить насос; 9) охлажденную пресс-форму выкатить на рабочую площадку, разобрать и извлечь из нее модель.

На боковых стенках камеры охлаждения имеются смотровые окна. Система барботирования в баке с охлаждающей водой служит для ее охлаждения.

Потерю воды в баке периодически пополняют, как емкость подвспененным, высушенным, вылежанным ППС. Задувочный пистолет гибкой трубкой подключают к цеховой системе сжатого воздуха до 6 кг/см^2. Рабочую поверхность стола после задувки пресс-формы регулярно очищают (сжатым воздухом из пистолета) от просыпей ППС для предотвращения торможения шариковых опор. Стол облегчит труд модельщика.

Установка датчиков уровня в емкость 3 и бак 5, температуры в бак 5, и времени в камеру 4 с объединением с датчиками автоклава позволит создать систему мониторинга рабочего места модельщика в составе системы оперативного мониторинга цеха ЛГМ, в настоящее время проектируемой отделом ФХПФ под руководством проф. Шинского О.И.

УДК 621.744

В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЛИТЬЕ ПО ЛЕДЯНЫМ МОДЕЛЯМ В ИЗОБРЕТЕНИЯХ И ИДЕЯХ

Научная школа проф. Шинского О. И. многие годы проводит исследования по криотехнологии формовки, еще в 1984 г. ею получено а. с. 1121089 СССР на разовую модель, основу которой составляет лед. Литье по ледяным моделям (ЛМ), продукты таяния которых впитываются в поры песка формы, также описано Гаврилиным И.В. (Лит. пр-во, 9/1994, с. 14-15) и нашим пат. 80381 UA. Этот способ литья отвечает цели получения чистого производства без органических материалов в соответствии с эко-идеей (1) применения самостоятельно разрушающихся после выполнения своих функций материалов (таяние льда в песке формы с температурой выше 0°С) и приближения процесса литья к безвредному обмену веществ с окружающей средой. Агрегатные переходы воды (из жидкого в твердое при замораживании модели, опять в жидкое – таяние ЛМ при освобождении полости литейной формы, а затем испарение при сушке увлажненной песчаной формы) в какой-то мере наследуют кругооборот воды в природе (2). Для ряда процессов с ЛМ вода на 30…90% и сухой песок формы на 80…90% (за вычетом песка для образования оболочки путем фильтрации – увлажнения) могут использоваться многократно. Удаление модели фильтрацией привело к идее (3) создания пары «связующее - отвердитель», один из которых в виде порошка до-

бавлен в песок, а другой введен в ЛМ с самотвердением оболочки на глубину фильтрации. Удержание стенок формы при таянии ЛМ опробовано на трех идеях. Песок удерживают под действием вакуума как при ВПФ (4), осаждая гелеобразователь - герметизатор на стенке полости формы, вводя его заранее в ЛМ (пат. 80235 UA) и/или подавая через трубчатый выпор/стояк ЛМ в жидком нагретом виде еще и в качестве теплоносителя для плавления ЛМ (пат. 89664 UA). Вторая идея - из технологии бурения скважин: удержание стенки формы давлением водной композиции как стенки скважины - давлением бурового раствора (5). Плавление ЛМ во время подачи через трубчатый выпор/стояк модели водной композиции под гидростатическим давлением (или с вакуумированием песка) с созданием твердой песчаной оболочки, например, при наличии в сухом песке порошков таких кристаллогидратов, как гипс и/или цемент (пат. 79719 UA). Третья идея - опора на полутвердое покрытие ЛМ, в котором происходят процессы схватывания связующего и которое в виде порошка слоем до 3 мм удерживается на ЛМ электромолекулярными силами (пат. 82026 UA) за счет положительного электрозаряда на повеерхности льда, возникающего вблизи его температуры плавления, и отрицательного заряда, свойственного минеральным частицам. А по пат. 88304 UA наносили многослойное покрытие на модели из формовочного материала, которое затем отверждали в виде оболочковой формы; новизна способа - в поочередном нанесении сухого формовочного материала и помещения модели в увлажненную пульверизацией жидкости воздушную среду, с которой влага конденсировалась на охлажденном льдом модели формовочном материале, содержащем, например, гипс или цемент. В результате чего получали полутвердое покрытие, в котором начиналось схватывание этих вяжущих еще на твердой модели (6). После нанесения на ЛМ покрытия ее помещали в контейнерную опоку и засыпали сухим формовочным материалом, в частности, по пат. 81726 UA. Типовый пример состава такого материала приведен в пат. 83891 UA с методикой (пат. 83018 UA) по его гранулометрической оптимизации. Затем формовочный материал виброуплотняли, он обжимал и уплотнял покрытие ЛМ, а форму без ЛМ сушили.

Сочетание практически одновременно протекающих трех операций (плавление ЛМ, удаление фильтрацией ее расплава в поры формы и твердение песчаной оболочки) дает преимущество, по сравнению с традиционным ЛВМ, в том, что, удаляясь из полости формы, разовая модель, «участвует» своим расплавом в создании твердой песчаной оболочки. Для ускорения схватывания и

твердения формы с гипсом ее нагревали до 40...46°С, а с цементом - до 80...100°С (заявка u201400637 UA). Смеси с кристаллогодратами затвердевают вследствие гидратации; гипс, цемент и др. в составе таких песчаных смесей от теплового воздействия металла дегидратируются и могут вновь твердеть при увлажнении, что позволяет применять оборотные кристаллогидратные смеси с обновлением их свежими материалами до 10% [1]. Последнее созвучно с идеей (1) о саморазрушающихся после выполнения своих функций материалов с циклическим их использованием.

Список литературы

1. *Гамов Е. С.* Расчет освежения оборотных кристаллогидратных самотвердеющих смесей // Литейное производство. – 1978. – № 2. – С. 16-17.

УДК 621.746.043.3:669.046.516.4:669.715

Ю.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, Н.В. Доценко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО ЛИТЕЙНОГО СПЛАВА НА ЕГО ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Наиболее высокое качество металла, стабильные по сечению отливок свойства получают при наличии однородной и мелкозернистой структуры, а также при отсутствии макродефектов, таких как пористость и раковины. Поэтому задачей заинтересованных специалистов неизменно является совершенствование действующих и разработка новых эффективных процессов литья. При этом в настоящее время становятся доступными многие методы воздействий на кристаллизующийся металл, относящиеся как к физическим, так и к химическим или физико-химическим процессам. Для повышения эффективности литейных процессов большое значение имеет создание новых методов воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл. Современные технологии формирования отливок чрезвычайно трудоемки, длительны, вызывают значительные потери металла на переделе и не всегда обеспечивают достаточно высокое качество отливок [1-6] Развитие новых направлений в теории литейных процессов и соз-

дание на их базе эффективных технологий формообразования тесно связаны, прежде всего, с интенсификацией процессов теплообмена и массопереноса в затвердевающих сплавах.

В литейном цехе ЗАО «Горизонт» внедрена технология газодинамического воздействия на расплав при производстве отливок деталей «Опорный наконечник стойки конвейера». Отливки данной номенклатуры изготавливают из сплава SC51A (по ASTM США), отечественный аналог – сплав АК5М (ДСТУ 2839 – 94) способом литья в кокиль. Отличительной особенностью технологии является включение в порядок технологических операций изготовления отливки следующих этапов: проведение рафинирования (препарат DEGASAL T 200) и ввод модификатора TiCN в расплав, введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона), последующее наращивание давления и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки.

Основой расчетов режимов газодинамического воздействия при различных вариантах осуществления технологии являлись результаты моделирования процесса затвердевания фасонной отливки из алюминиевого сплава АК5М в системе компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон» [7].

В ходе проведенной работы было установлено что временное сопротивление увеличивается на 11-15%, твердость (НВ) – на 4-8%, а относительное удлинение – на 27-30%.

Список литературы:

1. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В.; № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.

2. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меняйло О.В., Савега Д.О.; № u 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23.

3. *Селиверстов В.Ю.* Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок // Зб. Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.

4. *Ефимов, В.А.* Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. – 1983. – С. 3-65.
5. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» – 2002. – 169 с.
6. *Калиниченко, А.С.* Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика [Текст] / А.С. Калиниченко, Г.В. Бергман - Мн.: Технопринт, 2001. – 367 с.
7. *Эльдарханов, А.С.* Процессы кристаллизации в поле упругих волн [Текст] / А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1996. – 256 с.

УДК 621.74

В. П. Доценко, М. П. Тур, М. С. Слобоженюк
Одеский национальный политехнический университет, Одесса

ИССЛЕДОВАНИЕ СУРЬМЯНИСТОГО ЧУГУНА, КАК АНТИФРИКЦИОННОГО И ИЗНОСОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА

Широкое использование сурьмянистых антифрикционных чугунов в качестве подшипникового материала представляет собой весьма важную задачу. Эти чугуны значительно дешевле чем бронзы и сравнительно легко могут быть получены в производстве. Решение этой задачи даст возможность резко сократить затраты средств и получить огромную экономию цветных металлов. Здесь следует отметить, что большое количество исследовательских работ, посвященных изучению имеющихся гостированных антифрикционных чугунов, и многолетнее применение их, как подшипникового материала .показывает, что такие чугуны могут быть использованы лишь при сравнительно легких условиях работы, хорошей смазке, при повышенных зазорах и более высокой твердости сопряженного вала, а также точной механической обработке трущихся поверхностей узлов трения.

Одновременно с этим, процесс получения антифрикционных чугунов, вошедших в государственный стандарт, требует применения природнолегированных дорогостоящих чугунов, обработке жидкого металла магнием,

термической обработки, а также предусматривает более сложную технологию отливки из них деталей.

Исследование нового антифрикционного чугуна проводилось в направлении установления оптимального содержания в нем сурьмы и основных элементов, обеспечивающих наилучшие антифрикционные его свойства, а также в установлении влияния толщины стенки отливок на свойства этого чугуна.

Для этой цели было проведено несколько десятков опытных плавок с различным химическим составом чугуна и различной присадкой в него сурьмы.

Из каждой опытной плавки отливались стандартные образцы для механических испытаний и специальные технологические приборы для определения влияния толщины стенки отливок на свойства сурьмянистых чугунов. Механические испытания образцов производились на изгиб, стрелу прогиба, разрыв, сжатие и твердость по Бринеллю.

Структура сурьмянистых чугунов изучалась на стандартных образцах, взятых при производстве опытных плавок с различным содержанием сурьмы и других элементов в чугуне. Кроме того, образцы для металлографических исследований отбирались также и от опытных деталей, предназначенных для производственных испытаний. Исследование влияния термической обработки на структуру и антифрикционные свойства сурьмянистого чугуна проводилось на тех же стандартных образцах, подвергаемых отжигу и нормализации. Термическая обработка осуществлялась в лабораторной печи трубчатого типа. Нагрев образцов производился до 900^0С и при этой температуре выдерживался в течение одного часа. При отжиге охлаждение образцов осуществлялось вместе с печью до температуры 650^0С, дальнейшее охлаждение производилось на воздухе. При нормализации, образцы нагреты до 900^0С вынимались из печи и охлаждались на воздухе.

Как показывает практика изучения и внедрения новых подшипниковых материалов, весьма положительный эффект дают лабораторные исследования антифрикционных свойств, предшествующие эксплуатационным испытаниям.

На основе полученных данных можно сказать, что сурьмянистый чугун с содержанием сурьмы в пределах 0,25 – 0,4 % является хорошим антифрикционным материалом, который может заменить собой бронзу и в отдельных случаях баббит, обладая хорошими литейными свойствами, позволяющими получить отливки чистыми без пригара, утяжки, короблений, с четкими углами и краями. Твердость отливки из сурьмянистого чугуна с увеличением толщины стенки от

20 до 80 мм практически не изменяется и составляет 207 – 229 единиц по Бринеллю.

Список литературы

1. *Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева* Материалознавство – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

2. *Харлашин П.С., Волошин В.С., Ершов Г.С.* Металлургия (проблемы, теория, технология, качество) Учебник. – 2004. – 740 с.

3. *Арсентьев П.П., Колебов Л.А.* Металлические сплавы и их свойства. – М.: Металлургия, 1976. – 248 с.

УДК 621.746.5.047: 621.771.06: 669.1/2: 537.84

В.І. Дубодєлов, М.С Горюк, В.К. Погорський

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНІТОДИНАМІЧНОГО МІКСЕРА-ДОЗАТОРА ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВАЛКОВОГО ЛИТТЯ ЛИСТОВОЇ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ

У Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України ведуться роботи по створенню комплексу обладнання і технології для одержання металевого листа безпосередньо з розплаву методом безперервного лиття у двовалковий кристалізатор (робота виконується під керівництвом чл.-кор. НАН України Мазура В.Л. та д. т. н., зав. відд. безперервного лиття та ливарно-деформаційних процесів Ноговіцина О.В. за участю ряду підрозділів Інституту).

На сьогодні наявна дослідна установка, проаналізовано основні технічні та технологічні параметри і вимоги щодо реалізації розроблюваного процесу валкового лиття металевого листа з її використанням, зокрема:

- тип сплаву – сірий чавун (склад, % мас.: 3,0-3,4 C; 1,3-1,7 Si; 0,4-0,7 Mn; до 0,15 P; до 0,1 S; Cr и Ni – сліди);

- діапазон робочих температур розплаву – 1380-1450 °C;

- продуктивність по розливанню – 18,2 т/год (масова витрата розплаву при безперервній роботі обладнання ~5-6 кг/с);

- товщина одержуваного листа – 0,6-1,2 мм;

- діаметр валків – 420 мм;

- лінійна швидкість валків – 0,6-1,2 м/с;

- зусилля притискання валків – 4,5-5,0 т;

- максимально допустима температура валків – 300 °С;

- середня витрата води на охолодження валків – 3,6 $м^3$/год;

- температура води на вході і на виході системи охолодження валків – відповідно 15 і 20 °С;

- рідкий чавун через змінний стакан (дозатор) ∅20 мм надходить в розподільний живильник, звідки широким струменем 150-200 мм поступає на холодну поверхню одного з валків, розтікаючись по ній, заповнюючи зазор між валками і постійно охолоджуючись.

Ґрунтуючись на вищевказаних вихідних даних, для подачі металевого розплаву у розподільний живильник і далі у міжвалковий зазор дослідної установки запропоновано використовувати магнітодинамічний міксер-дозатор для перегрівання та розливання чавуну і сталі моделі МД-4000 (МДН-6ч-3,0-1).

За методикою, розробленою у відділі магнітної гідродинаміки ФТІМС НАН України, розраховано основні електричні, теплові і гідродинамічні характеристики обраного магнітодинамічного агрегату для забезпечення вимог створюваного технологічного процесу, зокрема:

- повна місткість міксера-дозатора – 4000 кг залізовуглецевого розплаву;

- корисна місткість – 3000 кг;

- маса «болота» – 1000 кг;

- сумарна активна потужність індукторів (2 шт.) – до 300 кВт при коефіцієнті потужності не менше 0,9;

- повна потужність електромагніта – до 60 кВт;

- теплові втрати міксера-дозатора (при масі розплаву в ньому в межах 3000-4000 кг та температурі в діапазоні 1380-1450 °С) – 100-150 кВт;

- сила струму в рідкому металі, що заповнює індукційний канал міксера-дозатора, – до 15000 А;

- магнітна індукція, створювана в робочій зоні індукційного каналу, яка розташована в зазорі магнітопровода електромагніта, – до 0,1 Тл;

- електромагнітний тиск, створюваний електромагнітною силою (як результат суперпозиції індукованого електричного струму і зовнішнього магнітного поля) в робочій зоні, – до 18 кПа;

- масова витрата розплаву при розливанні – до 10 кг/с;

- продуктивність по перегріванню чавуну на 100 °С при повній загрузці – 1,68 кг/с (~6000 кг/год).

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення можливості розосередженої подачі розплаву плоским струменем фіксованої ширини у міжвалковий зазор установки валкового лиття безпосередньо з магнітодинамічного міксера-дозатора. Для цього слід оцінити розподіл індукції при зміні ширини полюсу магнітопровода електромагніта та розробити технічні рішення щодо модернізації конструкції зливального металопроводу магнітодинамічного міксера-дозатора з урахуванням запобігання небезпеці бічного витікання розплаву з міжвалкового простору.

УДК 621.746.2:66.028

В. И. Дубоделов, Н. А. Слажнев, К. С. Богдан, Ю. В. Моисеев, А. Ю. Кизилова

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

Тел./факс.: 0444242050, e-mail: mgd@ptima.kiev.ua, slazhnev@ptima.kiev.ua

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛОВ ЛИТЕЙНЫХ МГД-УСТАНОВОК В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В процессе эксплуатации канальных печей (ИКП) и магнитодинамических установок (МДУ), совмещающих элементов индукционной канальной печи и электромагнитного насоса, вследствие зарастания их каналов, приходится останавливать работу такого оборудования и проводить внеренгламентные работы по очистке каналов. Определение степени уменьшения поперечного сечения каналов указанных электротехнологических установок, весьма затруднительно. Для этих целей применяются различные методы.

В частности контроль изменения гидродинамической картины движения расплава по системе сдвоенного индукционного канала или определение отклонений электрических параметров работы систем индуцирования токов.

Визуальный метод проверки зарастания каналов магнитодинамических установок реализуется путём их включения в режимы "нагнетания", "всасывания" и "бокового перемешивания". При этом визуально производится оценка пропу-

скной способности канала по степени деформации поверхности жидкого металла над устьем центральным и бокового патрубков Ш-образного канала в зависимости от режимов включения. Однако такую оценку можно производить только при минимальном количестве расплава в тигле МДУ (не более 200 мм).

Как показал опыт эксплуатации магнитодинамических установок, зарастание каналов влияет на электрическое сопротивление жидкометаллического витка примерно на 10 - 12 % в сторону увеличения.

Одним из методов диагностики параметров тока в индукционном канале является использование пояса Роговского. Однако этот метод не позволяет точно определить "место" образования локального зарастания канала.

Кроме того, при повышении температуры металлического расплава его сопротивление увеличивается, и возникающая в результате неоднородность температуры жидкого металла в канале может внести дополнительную погрешность $_{\Delta}R= 1,0 * 10^{-5}$ Ом.

Электрические методы прямого или косвенного измерения силы тока для оценки степени зарастания каналов ИКП отличаются сложностью и имеют существенную погрешность, поэтому исследователи предпочитают косвенные методы диагностики, в основу которых положен бесконтактный метод измерения пространственной картины распределения индуцированного электрическим током собственного магнитного поля.

На основании закономерности распределения индукции вокруг жидкометаллического проводника с током, в соответствии с законом Био - Савара-Лапласа, в качестве перспективного метода исследования режимов работы каналов ИКП и магнитодинамических установок, является способ измерения интенсивности распределения индукции магнитных полей рассеивания вокруг жидкометаллического проводника. Так, в случае образования в полости индукционного канала отложений продуктов зарастания, имеющих по сравнению с жидкометаллическим проводником большее удельное сопротивление, возникает искривление распределения линий индукции магнитного поля В в трёхмерном пространстве.

Использование указанного выше эффекта даёт возможность осуществить бесконтактный контроль и диагностику степени зарастания (состояния) каналов магнитодинамической установки в процессе их эксплуатации методом измерения тангенциальных составляющих индукции магнитных полей рассеивания при протекании тока в жидкометаллическом проводнике. Для этого можно исполь-

зовать традиционный датчик индукции в виде соленоида. При этом ось катушки соленоида размещают параллельно силовым линиям индукции.

Для более детального исследования процесса перераспределения силовых линий индукции требуется определение не только одной тангенциальной составляющей (по оси x), но и двух других, соответственно тангенциальной по оси У и нормальной - по оси Z. Это позволяет сформировать пространственную (3D) картину распределения силовых линий индукции магнитного поля по оси канала и, особенно, в зоне его локального зарастания неэлектропроводящими продуктами.

Для повышения точности определения отклонений режимов работы ИКП и магнитодинамических установок, а также состояния их каналов от заданных значений предложен новый способ контроля режимов работы индукционных единиц и устройство для его осуществления.

Принцип действия способа основан на пространственном (3D) измерении распределения интенсивности магнитных полей рассеивания вокруг каналов с помощью датчика, который содержит три пары взаимно-перпендикулярных преобразователей Холла (X, Y, Z). При протекании переменного электрического тока высокой плотности (от 10^3 А) через жидкометаллический проводник в канале вокруг него индуцируется переменное магнитное поле с индукцией В. При этом конфигурация распределения интенсивности индукции В повторяет контуры сечения канала с жидкометаллическим проводником, что позволяет отслеживать места локальных изменений направления протекания тока при изменении геометрии канала в процессе его зарастания.

Полученная информация после её программной обработки поступает в специализированный монитор, на дисплее которого высвечивается гистограмма, характеризующая состояние канала в месте расположения 3D датчика при его перемещении вдоль поверхности каналов магнитодинамической установки, что даёт возможность получить визуальную картину состояния каналов в процессе эксплуатации.

Для оценки эффективности и возможности практического применения разработанного способа и реализующего его устройства была проведена его экспериментальная проверка на физической модели с медным шинопроводом, по которому протекал ток I=500-600 А, а также апробация на магнитодинамической установке МДН-6А-0,25 путём измерения индукции магнитных полей рассеивания вокруг жидкометаллического витка каждого из боковых каналов установки.

Предложенное устройство и способ диагностики позволили получить новый технический результат, выраженный в возможности реализации бесконтактного 3D измерения магнитной индукции полей рассеивания вокруг каналов МГД-установки, а полученную информацию использовать для определения местоположения и рельефа изменений состояний каналов, что позволяет их диагностировать, своевременно устранять и возвращать установку в штатный режим работы. В результате этого создаются предпосылки для повышения КПД установки и экономии энергоносителей.

УДК 669.046.516:669.131.7

А. П. Еременко, А. А. Свиженко

Днепродзержинский государственный технический университет,

г. Днепродзержинск

ГРАФИТИЗИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Наибольшее применение для графитизирующего модифицирование чугуна в нестоящее время получил ферросилиций марки ФС75 (ГОСТ 1415-75), содержащий помимо основного элемента примеси: алюминий, кальций, титан и др., которые активно влияют на графитизирующий потенциал ферросплава. Исследования показали, что содержание примесных элементов в ФС75 обусловлено спецификой производства и вызывает переменный графитизирующий эффект, что существенно сказывается на стабильности получения заданной структуры и свойств в отливках.

Для проведения исследований был использован ферросилиций ФС75 производства Ермаковского ферросплавного завода, Новокузнецкого завода ферросплавов, Челябинского электрометаллургического комбината, Стахановского завода ферросплавов. Базовый чугун, содержащий 4,1% C; 1,5 Si%; 0,62% Mn; 0,02% S; 0,4% P, для проведения исследований, выплавляли на шихте, состоящей из литейного и передельного чушковых чугунов и возврата ЧШГ. Полученный металл затем переплавляли в индукционной печи, вместимостью 50 кг с кислой футеровкой.

После расплавления и скачивания шлака чугун в тигле печи обрабатывали никельмагниевой лигатурой, содержащей 10,8% магния или комплексным моди-

фикатором ЖКМК-4р. Расход лигатур составлял 1,2%и 2% соответственно. Дробленые сфероидизирующие добавки и молотый плавиковый шпат помещали в стальной колокольчик, который погружали в жидкий металл. Графитизирующую обработку жидкого ЧШГ проводили ферросилицием ФС75 в разливочном ковше при его заполнении. Химический оостав чугуна после модифицирования следующий, *%:* 3,9-4,05 C; 1,8-2,8 Si ; 0,6-0,62 Mn.

Влияние графтизирующего модифицирования на механические свойства изучали при расходе ферросилиция до 1%. Механические свойства чугуна определяли на образцах в литом состоянии и после ТО.

Изучали влияние содержания кремния, магния и расхода ферросилиция на предел прочности ($\sigma_в$), относительное удлинение (φ) и ударную вязкость (KCU) в литом и териообработанном состоянии. В результате статистической обработки были получены уравнение регрессии, остаточная дисперсия, коэффициент корреляции и среднее значение параметра. Полученные результаты показали, что практически во всех случаях количество вводимого ферросилиция оказывает наиболее существенное влияние на все показатели механических свойств чугуна, как при использовании никельмагниевой лигатуры, так и при при использовании для сфероидизирующего модифицировании комплексного модификатора. Сохраняется это влкяние и после проведения термообработки, но при этом зависимости носили более сложный характер и описывались уравнениями более высоких порядков. После термической обработки значительно снижались прочностные показатели и возрастала пластичность.

При использовании челябинского ферросилиция достигаются более высокие значения показателей пластичности как в литом состоянии (δ - 7,4% и KCU - 23,4кдж/м^2), так и после термообработки (20,9% и 83,8 кдж/м^2). Несколько хуже эти показатели у чугуна, обработанного ферросилицием новокузнецкого и стахановского ферросплавных заводов. Наиболее стабильные результаты получены также при использовании челябинского ферросилиция. Исследованные ферросплавы по степени убывания их графитизирующей способностит можно поставить в следующий ряд: челябинский, стахановский, новокузнецкий, ермаковский. Существенная разница в результатах графитизирующей обработки связаны с химичеким составом используемых проб ферросилиция. Челябинский ферросилиций содержит заметно более высокое количество алюминия и имеет в отличии от ферросилиция других ферросплавных заводов примесь бария, до 0,4%.

Результаты статистической обработки механических свойств высокопрочного чугуна согласуются с металлографическим анализом и показывают, что ферросилиций различных заводов-поставщиков при применении его в качестве графитизирующего модификатора по-разному влияют на уровень механических свойств ЧШГ при прочих равных условиях, как в литом состоянии, так и после термообработки.

УДК 621.74.042:621.746.6

Н. А. Жижкина

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, Луганск

ЛЕГИРОВАНИЕ ВАЛКОВОГО ЧУГУНА

Литье валков характеризуется сложным процессом кристаллизации [1], что изменяет интенсивность влияния легирующих компонентов на затвердевающий металл рабочего слоя. Усложняют технологию легирования валкового чугуна процессы распределения таких компонентов между структурными составляющими. В зависимости от того, в какой фазе сосредоточен легирующий элемент, изменяются свойства валкового чугуна. В результате повышается уровень остаточных напряжений в отливке, что может привести к снижению работоспособности валка. Следовательно, стабильность структуры и обеспечение необходимого уровня свойств в значительной степени определяется содержанием химических компонентов металла и способом его обработки.

Выбор материала рабочего слоя формующего инструмента обусловлен условиями его эксплуатации в стане. Опыт производства валков [2, 3] показал, что для чистовой группы клетей наиболее приемлемы валки с рабочим слоем из чугуна, содержащего до 4,5 % Ni, с мелкодисперсной мартенситной структурой. Вместе с тем такое количество никеля способствует образованию в структуре чугуна значительной доли графита, включения которого в процессе эксплуатации могут быть концентраторами механических и термических напряжений, а также вызвать процесс окисления рабочей поверхности. Для предотвращения графитизации и одновременного повышения уровня твердости в чугун вводят хром, связывающий углерод в карбиды. При этом интенсивность такого процесса возрастает с концентрацией легирующего элемента. Вместе с тем установлено, что хром, характеризуясь большой диффундирующей способно-

стью, при смешивании переходит из металла рабочего слоя в сердцевину, тем самым способствуя увеличению карбидов в ее структуре и снижению прочностных характеристик. Поэтому содержание такого компонента в составе металла рабочего слоя ограничивают 1,5 %.

Изменению структуры способствуют другие химические компоненты – марганец и медь. Марганец, являясь карбидообразующим элементом, препятствует графитизации, но в количестве более 2 % повышает хрупкость чугуна. Действие марганца уравновешивает медь, поэтому ее применение взамен никеля для валков, работающих в условиях интенсивного износа, более целесообразно. Медь позволяет получить литейные свойства, аналогичные никелевым чугунам, при этом повышая их прочность. Вместе с тем установлено, что в структуре чугуна, содержащего 3,0-3,5 % Cu, отсутствовал мартенсит, а ее однородность обеспечивалась путем дополнительного введения никеля в количестве 0,3-0,4 %. Следовательно, такие компоненты целесообразно применять в качестве добавок, а для повышения эксплуатационных свойств валков - другие компоненты.

Одновременное повышение прочности, износо- и термостойкости рабочего слоя прокатных валков осуществляют путем введения в расплав молибдена. Металлографические исследования образцов из высоколегированного чугуна, отобранных от рабочего слоя валков, показали, что введение молибдена в количестве 0,16 %, практически не изменяя соотношение структурных составляющих и, как следствие, уровень твердости, способствовало получению более мелкозернистой структуры изделия. При повышении молибдена до 0,39 % величина зерна заметно уменьшилась. При увеличении доли легирующего компонента до 0,64 % наряду с измельчающим эффектом проявилось и его карбидообразующее влияние: количество карбидов возросло на 10 % по сравнению с исходной отливкой, тем самым снизилось графитизирующее действие никеля в массивных изделиях.

Повышение уровня твердости наблюдалось при легировании валкового расплава молибденом в комплексе с ниобием, образовывающим с углеродом стойкие карбиды. Установлено, что введение ниобия в количестве 0,1-0,24 % оказало косвенное модифицирующее воздействие. В обработанном чугуне наблюдались единичные включения шаровидного (компактного) графита по всему сечению шлифа, в то время как в образце из необработанного чугуна - колонии пластинчатого графита утолщенной формы, размер и количество которого возрастали с увеличением глубины. При этом установлено, что первичное зерно ме-

таллической матрицы с увеличением глубины возросло в обоих образцах. Однако его увеличение более интенсивное в необработанном чугуне.

Металлическая основа образца с ниобием характеризовалась более дисперсными продуктами распада аустенита (бейнитом и мартенситом) по сравнению с необработанным чугуном. Общее количество карбидов в сравниваемых образцах одинаковое и составило 25-30 %, что способствовало формированию равного уровня твердости (76 HSД).

Вместе с тем образец, обработанный ниобием, характеризовался неравномерностью структуры вдоль образца. Наблюдались участки, где преобладали металлическая матрица или игольчато-розеточные колонии карбидно-мартенситной эвтектики. В результате отливки с рабочим слоем, легированным ниобием, характеризовались более высоким уровнем напряжений по сравнению с изделиями, для изготовления которых использован хром-никель-молибденовый чугун.

Выводы. 1. Высокий уровень твердости и стойкости износа характерен для формующего инструмента с рабочим слоем из хромоникелевого чугуна. Вместе с тем выявлено, что содержание в чугуне никеля до 4,5 % способствует образованию значительной доли графита в структуре рабочего слоя, что снижает его отбеливаемость, а следовательно, и эксплуатационные показатели.

2. Экспериментальные исследования влияния различных химических компонентов на структуру и уровень свойств валкового чугуна показали, что в качестве добавок, улучшающих эксплуатационные характеристики формующего инструмента, целесообразно применять марганец в количестве до 2%, препятствующий графитизации расплава, и медь до 0,3%, повышающую прочностные и литейные свойства материала.

3. Установлено, что дополнительное легирование хромоникелевого чугуна молибденом в количестве до 0,6 % способствовало повышению прочности, износо- и термостойкости рабочего слоя за счет уменьшения зерна структуры и увеличения количества карбидов в ней на 10 %.

4. При легировании валкового расплава молибденом совместно с ниобием в количестве 0,1-0,24% получено повышение уровня твердости рабочего слоя за счет измельчения структурных составляющих и формирования шаровидной формы графита. Вместе с тем такие отливки характеризовались неравномерной микроструктурой и, как следствие, более высоким уровнем напряжений по сравнению с изделиями, дополнительно легированными только молибденом.

Список литературы

1. *Жижкина Н. А.* Исследование процесса кристаллизации центробежных валков / Н. А. Жижкина // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 2 (191), ч. 1. – С. 59-62.

2. *Будагьянц Н. А.* Литые прокатные валки / Н. А. Будагьянц, В. Е. Карсский. – М.: Металлургия, 1983. – 175 с.

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

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

Л.Ф. Жуков, А.Л. Гончаров, А.Л. Корниенко, М.И. Смирнов,
В.П. Школяренко, В.В. Батальянец, Г.О. Антонов, В.В. Дроздовский
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

НЕПРЕРЫВНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ И СЛИВЕ ИЗ ВАГРАНОК И ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

Оснащение металлургических и нагревательных печей и агрегатов малой емкости и производительности стационарными системами непрерывного автоматического термоконтроля не всегда технически и экономически оправдано. Наиболее целесообразным здесь является периодический контроль температуры переносными контактными и бесконтактными термометрами. Для реализации такого контроля ФТИМС НАН Украины разработан комплекс переносных термоэлектрических и оптических термометров.

Комплекс_построен по модульному принципу на единой элементной базе и предназначен для периодического контроля температуры твердых, жидких и газовых сред, в том числе металлических расплавов и сплавов, в металлургическом и литейном производствах.

Методы термометрии основаны на:

- погружении контактных термопреобразователей в термометрируемую жидкую или газовую среду или механическом их контакте с твердой термометрируемой поверхностью;

- бесконтактной пирометрии излучения термометрируемой поверхности в зонах и спектральных диапазонах с наиболее стабильными излучательными характеристиками и пропусканием промежуточной среды с последующей, повышающей точность измерений, обработкой пирометрической информации.

Термометры состоят из универсального микропроцессорного вторичного измерительного преобразователя с автономным источником питания и встроенным индикатором температуры и специализированных термопреобразователей. Термометры имеют общую модификацию с запоминанием 110 значений измеренных температур, которые могут просматриваться на встроенном индикаторе, либо быть переданы на компьютер через последовательный COM-порт.

При промышленном использовании термометры обеспечивают контроль температуры в диапазоне от –50 до +2500° С с погрешностями, в большинстве случаев, не превышающими 0,5% и управление тепловыми технологическими процессами, что позволяет снизить энергозатраты и угар шихтовых материалов, исключить брак и аварии, обусловленные нарушением температурных режимов, повысить срок службы футеровки и производительность теплотехнического технологического оборудования.

УДК 536.521.3

Л.Ф. Жуков, А.Л. Корниенко

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЦВЕТОВОЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛУРГИИ

Выполнен комплекс исследований метрологических характеристик симметрично-волновой пирометрии излучения металлургических материалов в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Установлены и экспериментально подтверждены высокие метрологические характеристики многоцветовой термометрической технологии. Погрешности симметрично-волновой пирометрии излучения в 2,3 – 8,4 раз ниже погрешностей известной многоцветовой, а также классической энергетической и спектрального отношения пирометрии излучения.

Симметрично-волновая пирометрия излучения (СВПИ) является одним из разрабатываемых ФТИМС НАН Украины направлений многоцветовой термометрии, имеющей явные преимущества по сравнению с классической энергетической и спектрального отношения пирометрией излучения. СВПИ также имеет явные преимущества по сравнению с известными «многоцветовыми» решениями. Преимущества определяются, прежде всего, минимально возможным количеством рабочих длин волн и простым алгоритмом обработки первичной пирометрической информации, обеспечивающими более высокие метрологические характеристики. Наиболее простой здесь является линейная СВПИ. В случае термометрируемых объектов с линейными распределениями излучательной способности, в том числе со спадающими, возрастающими, серыми и термодинамически равновесными, методические погрешности линейной СВПИ определяются исключительно дискретностью перебора значений температуры контролируемых объектов. При необходимости современная микропроцессорная и компьютерная техника позволяет выбрать дискретность в долях кельвина и тем самым приблизить эти погрешности к нулю. Для объектов с нелинейными распределениями излучательной способности погрешности измерений линейной СВПИ отягощаются методической составляющей, которая была изучена авторами в различных условиях пирометрии излучения. В этих работах доказано, что даже при самых неблагоприятных оптических характеристиках термометрируемых объектов методические погрешности линейной СВПИ могут быть уменьшены в несколько раз оптимальной настройкой параметров многоцветовой пирометрической системы. Для полного исключения методической составляющей погрешности на любых реальных объектах авторами разработан универсальный метод многоцветовой СВПИ. При термоконтроле объектов с линейными, а также нелинейными спектральными распределениями излучательной способности погрешности измерений линейной СВПИ определяются соответственно инструментальными, а также методическими и инструментальными составляющими. Погрешности измерений универсальной СВПИ на указанных объектах определяются инструментальными составляющими. Поэтому безусловную практическую ценность имеют результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик линейной СВПИ.

УДК 536.521.3

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко, А. В. Богдан, В. М. Крупник, Л.В. Крупник
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

НЕПРЕРЫВНАЯ МНОГОЦВЕТОВАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ

Оптическая бесконтактная термометрия не имеет альтернативы для измерений температуры удаленных, движущихся, малогабаритных и др. объектов, а также для непрерывного контроля высоких температур.

Классические технологии оптической термометрии могут быть использованы без калибровки на открытых контролируемых объектах в случае «черного тела» для энергетической и «черного и серого тел» для двухцветовой пирометрии излучения. В других условиях возможности оптической термометрии ограничены известными проблемами излучательной способности (ε) и пропускания промежуточной среды (τ).

Новые термометрические технологии ФТИМС НАН Украины повышают метрологические характеристики и расширяют область применения оптической термометрии для бесконтактного и световодного непрерывного термоконтроля.

Спектрально-компенсационные многоцветовые термометрические технологии основаны на многоцветовой пирометрии излучения термометрируемой поверхности с последующей спектрально-компенсационной обработкой первичной пирометрической информации, исключающей влияние ε и τ.

Технологии полихроматической детерминированной пирометрии основаны на измерениях нескольких одноцветовых температур излучения термометрируемого объекта и последующем расчете его температуры с использованием методов матриц и Монте-Карло.

Технологии многоцветовой спектрально-компенсационной и детерминированной пирометрии излучения предлагаются для сложных термометрических условий металлургии и металлургии машиностроения, в том числе для непрерывного бесконтактного термоконтроля металлических расплавов в струе или в потоке на выпуске или сливе из металлургических агрегатов, а также заготовки под кристаллизатором, проката и проволоки при непрерывной разливке, прокатке и волочении металла.

Технологии защищены авторскими свидетельствами и патентами в Украине и СНГ. При промышленном использовании новые технологии термоконтроля

обеспечивают световодные и бесконтактные измерения температуры с погрешностями, не превышающими 1%. Например, при изменениях состояния поверхности заготовки от чистой до полностью окисленной, т.е. при случайных изменениях ε в 2,5-3,5 раза в видимой и ближней инфракрасной областях спектра, основная методическая составляющая погрешности измерений не превышает 0,5%. Погрешности одноцветовой и двухцветовой классической термометрии в этих условиях, даже при введении поправок достигают 6%.

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

НЕПРЕРЫВНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ НА ВЫПУСКЕ И СЛИВЕ ИЗ ВАГРАНОК И ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

Электродуговые печи и вагранки являются одним из наиболее распространенных плавильных металлургических агрегатов в металлургии и металлургии машиностроения. Вагранка представляет собой агрегат проходного типа, поэтому для контроля и управления ваграночным процессом достаточно непрерывно измерять температуру чугуна на выпуске. Значительная инерционность реагирования вагранок на изменение дутья и, тем более, коксовых завалок позволяет измерять температуру расплава в сифоне пирометром излучения с погружаемой в расплав цилиндрической моделью термодинамически равновесного излучения. Такое решение целесообразно использовать для непрерывной термометрии чугуна с температурами выпуска близкими к температурам термодинамического равновесия основной металлургической реакции. Чугун в этом случае в различной, зависящей от температуры, состава и перемешивания, степени покрыт оксидными пленами, нарушающими однозначную связь между температурами металла и его излучения. Если температура выпускаемого чугуна превышает равновесную температуру, то для контроля лучше использовать двухканальную микропроцессорную бесконтактную пирометрическую систему. В этом случае пирометрический преобразователь, в соответст-

вии с разработанном методом, визируется на начало потока расплава на желобе непосредственно у сифона.

Известны методы измерений температуры чугуна на выпуске из стационарного копильника вагранки, заключающийся в том, что пирометр излучения визируется на поток расплава на желобе или на струю (снизу, сбоку) у носка желоба. Однако, проведенные нами исследования показывают неоптимальность этих методов. В результате исследований температурных полей участков поверхности расплава, доступных для пирометров излучения, установлено, что наиболее стабильную излучательную способность имеет участок струи непосредственно у летки. Для уменьшения погрешности измерений температуры предложено визировать пирометр на этот участок струи с помощью специальной разработанной фурмы. По температурной диаграмме можно, кроме температуры, контролировать производительность агрегата, ритмичность работы, простои и нарушения технологии, в частности, слив шлака в ковш.

Чугун из вагранок по третьей схеме выпускается непрерывно через открытый желоб. Наиболее приемлемым в этом случае является бесконтактный метод, заключающийся в том, что пирометрический преобразователь визируется на струю непосредственно у летки.

Ранее предложены методы непрерывного измерения температуры жидкого чугуна на сливе из электродуговых печей, заключающиеся в том, что пирометрический преобразователь визируется на струю расплава у носка желоба.

Печи имеют сифон для разделения чугуна и шлака, поэтому поверхность потока расплава на желобе свободна от шлака. Это позволяет в соответствии с разработанным нами методом располагать преобразователь над желобом печи и визировать его сверху на поток расплава. При таком расположении преобразователь более удобен в эксплуатации, выше надежность его работы. Кроме того, установлено, что поверхность потока расплава на желобе печи имеет более стабильную излучательную способность, чем поверхность струи у носка желоба.

Яркостная температура расплава имеет достаточно тесную однозначную связь с его действительной температурой только на определенных этапах слива, на которых и следует обеспечить контроль. С этой целью бесконтактные пирометрические системы комплектуются релейной приставкой. Над желобом печи установлен вытяжной зонт, поэтому для повышения эффективности применения сжатого воздуха фурма преобразователя имеет удлиненную насадку.

Для сглаживания пульсации показаний и записи температуры применена интегрирующая приставка.

Для технической реализации описанного бесконтактного метода можно использовать двухканальную систему, которая по термоэлектрическому каналу с помощью термопреобразователя погружения обеспечивает периодические измерения температуры жидкого чугуна в процессе перегрева и по пирометрическому каналу контролирует этап слива металла. Электродуговые печи с основной футеровкой часто используются для перегрева ваграночного металла при производстве отливок из ковкого чугуна. В этом случае чугун часто сливается из печи (примерно 1 раз в 5 минут) и автоматически обеспечивается практический непрерывный температурный контроль по пирометрическому каналу.

Непрерывный контроль температуры чугуна на выпуске из вагранки позволяет вагранщику изменением подачи дутья и кокса выдерживать заданный температурный режим плавки. Стабилизация температуры выпускаемого металла из вагранки и электродуговых печей обеспечивает требуемый температурный режим разливки. В комплексе стабилизация температурных режимов процессов получения и разливки ваграночного чугуна снижает уровень брака, расход кокса, угар шихты и амортизацию футеровки.

УДК 526.

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко, В.П. Школяренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ТЕРМОКОНТРОЛЬ В МЕТАЛЛУРГИИ

Измерения основного технологического параметра – температуры доминируют в структуре метрологического обеспечения металлургии. Важно контролировать интенсивность и время температурного воздействия на основные и вспомогательные материалы, так как это определяет качество металлопродукции и ресурсозатраты на ее производство. Из-за несовершенства или отсутствия температурного контроля значительно повышается брак готовой продукции, расход шихтовых и футеровочных материалов, энергозатраты в 1,5-2,0 и более, раз превышают возможные.

Бурное развитие измерительной техники в металлургии за последние 30 лет было вызвано потребностями создания новых автоматизированных технологических процессов для получения высококачественной металлопродукции при минимально возможных ресурсозатратах. По состоянию на 1991 год, на металлургических предприятиях Кавасаки Сэйтецу (Япония) 28,9% всех средств измерений использовались для термоконтроля, 23,2% – для измерений и контроля расхода, 18,8% - давления, 10,1% - уровня, 5,2% - химического состава, 3,9% – степени открытия, 3,6% - массы, 1,0% - вибраций, 0,8% - усилий, 0,7% - размеров, 0,6% - положений и 3,2% - других параметров. Данная структура метрологического обеспечения металлургии остается практически неизменной на протяжении последних 40 лет. [1-4]

Развитие направлений термоконтроля оценено по количеству публикаций, посвященных разработке методов и средств измерений температуры, а также их практическому использованию в производственных условиях. [5] Проанализировано 2535 работ, 90% которых опубликованы за период с 1973 по 2010 год. Главными направлениями развития термоконтроля являются оптическое и термоэлектрическое. Контактные методы реализуются с помощью термопар, а оптические – на базе различных «классических» типов пирометров излучения, а также световодных и многоцветовых пирометрических систем. [6,7]

В результате проведенного анализа установлено, что:

- в структуре метрологического обеспечения металлургических предприятий на долю термометрии приходится около 30% применяемых средств измерений;

- 65,6% публикаций посвещено оптической термометрии, а - 34,4% термоэлектрической термометрии. 77% публикаций принадлежат СССР(России), ФРГ, Великобритании, Японии и США;

- наиболее наукоемкий непрерывный термоконтроль доминирует в структуре термометрических исследовавний (78,2%), причем 80% здесь занимает оптическая термометрия. Распределение публикаций по направлениям оптической термометрии отражают их развитие в соответствии с техническими возможностями элементной базы;

- в периодическом термоконтроле доминирует термоэлектрическая термометрия. Дальнейшее ее развитие связано с роботизацией, повышением экспрессности и снижением стоимости однократных периодических измерений

температуры. Для периодического оптического термоконтроля перспективным является применение портативных двухцветовых пирометров;

- наиболее перспективными и лидирующими в области непрерывного термоконтроля считаются световодные и многоцветовые термометрические технологии ФТИМС НАН Украины, ориентированные на решение основных проблем современной оптической термометрии.

-

Список литературы:

1. Измерительная техника на металлургических заводах. // Нихон кикай гаккайси. Mech Eng. – 1989. – №92.842.

2. Техника измерений в черной металлургии. // Кэйсоку то сэйгё. Soc. Instrum. and Contr. Eng. – 1990. –№6. – С. 508-517.

3. Выставка «Sensor 1991». // Elektronik. – 1991. - №7. – С. 42-43.

4. Конкуренция на европейском рынке измерительной и испытательной техники. – 1994. –№8. – С. 2704.

5. *Сергеев С.С.* Тенденции изменения терминологии в термометрии. По материалам сайта www.technoac.ru. – 2007. – С.1-2.

6. Реферативный журнал 15.Металлургия. М.: ВИНИТИ. – 1971-2010.

7. Реферативный журнал 14.Технология машиностроения. 14Г. Технология и оборудование литейного производства. М.: ВИНИТИ. – 1997-2010.

Л. Ф. Жуков, Э. В. Захарченко, А. Л. Гончаров, Е. А. Сиренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

Тел. +38 044 424-20-86, Факс +38 044 424-21-10 e-mail: zhukov@i.com.ua

ЭКСПРЕССНЫЙ ПО ХОДУ ПЛАВКИ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ С И Si В ЧУГУНЕ

Для стабилизации получения качественного литого металла с заданными свойствами необходимо не только измерение температуры, но и экспрессно по ходу плавки определять химический состав и ряд технологических характеристик до заливки металла в литейные формы.

Термографический экспресс-анализ (ТГА) основывается на интерпретации особенностей термограмм охлаждения при затвердевании относительно небольших масс металла (обычно 200-300г; длительность затвердевания - около 2мин.). Обсуждаются современное состояние и пути повышения точности этого экспрессного и недорогого метода. Подчеркивается, что этому методу, имеющему богатую историю, в настоящее время нет адекватной альтернативы в литейном производстве.

Несмотря на большое число исследований в области ТГА остаются все же неясными и спорными некоторые важные его стороны, особенно касающиеся точности и воспроизводимости, интерпретации и формы термограмм охлаждения. Даже крупнейшие мировые компании, давно специализирующие на выпуске аппаратуры для ТГА, производят пробницы неоптимальной конструкции, используют математические модели, недостаточно учитывающие влияние сопутствующих и неконтролируемых химических элементов на термограммы охлаждения чугунов.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов Национальной академии наук (г.Киев) за последние пятьдесят лет накоплен значительный опыт в области ТГА. В настоящее время выполняются работы по модернизации ТГА чугунов. Разработаны практические рекомендации, которые в чугунно-литейном производстве могут обеспечить экспериментально подтвержденную погрешность ТГА на уровне 0,03%углерода и 0,03% кремния, что сравнимо с погрешностью определения углерода методом сжигания (0,035%). Разрабатываются новые компактные конструкции пробоотборников, оптимизируется размещение и термоизоляция термопар, создаются новые усовершенствованные алгоритмы и программы математической обработки термограмм охлаждения чугунов. Особое внимание обращается на повышение чувствительности и снижение инерционности измерений температуры, выяснение достоверной взаимосвязи между формой термограммы охлаждения на участках ее перегиба и характеристиками металлографической структуры затвердевания чугунов.

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

Л. Ф. Жуков, Н. Ф. Зубенина

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел. +38 044 424-20-86, Факс +38 044 424-12-10 e-mail: zhukov@i.com.ua

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЗАГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЕ РЕЖИМЫ ПЛАВКИ И МИКСЕРОВАНИЯ МЕТАЛЛА В ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ

В результате исследований комплексного влияния металлургических и энергетических параметров разработаны основанные на непрерывном температурном контроле энергосберегающие высокопроизводительные процессы плавки металла в индукционных тигельных печах. Предлагаемое управление обеспечивает стабильное получение качественного жидкого металла при минимально возможных ресурсо- и энергозатратах и максимальной производительности процессов за счет оптимального сочетания значений определяющих параметров: мощности, массы зумпфа и доз шихты, режимов и очередности загрузки шихтовых материалов, температуры наплавления печи металлом. Методы основаны на комплексном контроле и управлении температурными, загрузочно-разгрузочными и энергетическими режимами плавки

Плавка чугуна в литейном производстве часто проводится в ошлакованных печах. Поэтому особый практический интерес представляет разработка режимов управления процессами выплавки металла в таких условиях. В результате проведенных исследований было установлено, что ошлакование не только количественно, но и качественно изменяет воздействие металлургических и энергетических параметров на энергозатраты и производительность индукционной плавки. Полученные результаты использованы при разработке управления выплавкой металла в ошлакованных печах, которое принципиально, по указанной выше причине, отличается от управления для чистых печей.

Процессы плавки позволяют уменьшить удельные энергозатраты и поднять производительность печей, соответственно на 20 – 40 и 40 – 50%. Например, минимально возможные удельные энергозатраты при выплавке и перегреве до 1400°С чугуна в печах типа ИЧТ-10 с мощностью 2,5 мВт достигают 434кВт·ч/т.

Удельные энергозатраты индукционной плавки чугуна на многих заводах повышаются на 100 – 200 кВт·ч/т из-за простоя участков разливки металла. Авторы известных работ подчеркивают актуальность, но не дают решений этой про-

блемы. Результаты выполненных во ФТИМС исследований позволили разработать новые процессы миксерования металла и значительно снизить указанные энергозатраты при технологической выдержке расплава, а также в нерабочие смены и дни. Для разработки использованы результаты исследований влияния металлургических и энергетических параметров на энергозатраты термостатирования металла в индукционных тигельных печах. Режимы позиционного и непрерывного термостатирования расплава в печах за счет оптимальных значений массы расплава в тигле, температуры непрерывного термостатирования, ширины зоны нечувствительности позиционного термостатирования, напряжения на индукторе и массы расплава в тигле обеспечивают снижение общих и удельных энергозатрат соответственно на 38; 76% и 65; 54%. Рекомендованный, связанный с заполнением тигля, выбор позиционного или непрерывного термостатирования металла соответственно снижает общие и удельные энергозатраты не менее, чем на 12 и 58%.

Разработанные методы управления способствуют повышению ресурса футеровки за счет изотермической эксплуатации печи и оптимального, связанного с температурой термодинамического равновесия основной металлургической реакции, значения температуры термостатирования, уменьшающего ошлакование и разгар тигля.

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, Д. А. Петренко, Н.Ф. Зубенина

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Тел. +38 044 424-20-86, Факс +38 044 424-12-10 e-mail: zhukov@i.com.ua

ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ C, Si и Mn В ЧУГУНЕ ПО ЕГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

ФТИМС НАН Украины разработан комплекс теплофизических методов и средств экспресс–анализа химического состава железоуглеродистых сплавов. Комплекс включает также модернизированные термоэлектрические технологии. Термоэлектрические технологии предназначены для определения углерода, кремния и марганца, не содержат расходуемых элементов и материалов и используются для чугунов и сталей.

Методы экспресс-анализа основаны на регистрации и обработке термоэлектрических характеристик тестируемых образцов металла, которые, в свою очередь, зависят от их химического состава.

В результате сравнительных исследований доказаны более высокие по сравнению с другими методами, в том числе спектральным, метрологические характеристики и технологические возможности термоэлектрического экспресс-анализа химического состава сплавов. При промышленном использовании термоэлектрические методы и средства обеспечивают экспресс-анализ сплавов, в том числе контроль содержания элементов с абсолютными погрешностями не превышающими 0,1 %, что позволяет стабильно получать металлопродукцию с заданными свойствами при минимально возможных затратах. Погрешности термоэлектрического анализа по кремнию в 2 и более раз ниже погрешностей термографического анализа.

УДК 536.521.3

Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, А. В. Богдан, В.П.Школяренко, Н.Ф.Зубенина

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

Тел. +38 044 424-20-86, Факс +38 044 424-12-10 e-mail: zhukov@i.com.ua

БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНЫЙ НЕПРЕРЫВНЫЙ СВЕТОВОДНЫЙ ТЕРМОКОТРОЛЬ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ И АГРЕГАТАХ

Максимальные технико-экономические показатели металлургических печей для получения, обработки и разливки жидкого металла, достигаются только при непрерывном термоконтроле технологических процессов. Многолетние исследования и практика применения контактных, бесконтактных и световодных методов показали, что для реализации непрерывного контроля температуры жидкого металла в печах наиболее надежными являются световодные термометрические технологии.

Суть световодного термоконтроля заключается в том, что во время работы металлургического агрегата стационарно установленное в футеровке (Ф) световодное устройство (СУ) формирует однозначно связанное с температурой жидкого металла (ЖМ) излучение и обеспечивает его передачу к фокусирую-

щему устройству (ФУ), которое зафиксировано в визирном устройстве (ВУ) (Рис.1). ВУ с ФУ размещены в термостатирующем кожухе (ТСК). ФУ концентрирует световодное излучение на приемном торце волоконно-оптического кабеля (ВОК). ВОК передает излучение к детектирующему устройству (ДУ), для преобразования в аналоговые электрические сигналы. Вторичный измерительный преобразователь (ВИП) преобразует аналоговые сигналы ДУ в цифровой код температуры, в соответствии с заданной номинальной статической характеристикой преобразования. Результаты измерений температуры жидкого металла индицируются на встроенном или выносном индикаторе (ВЦИУ) и регистрируются устройством (РП).

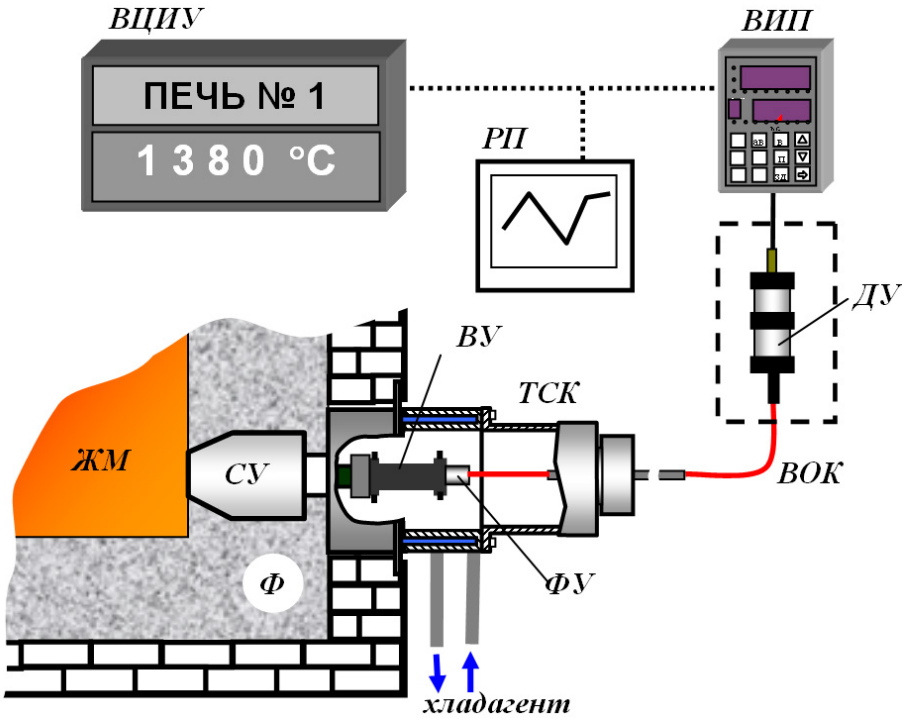


Рис.1

Исследования световодного термоконтроля в промышленных условиях на индукционных тигельных и канальных плавильных, миксерных и разливочных печах подтвердили его безальтернативность. Термоконтроль позволяет: повысить производительность печей и продлить ресурс футеровки; снизить энергозатраты, брак литья по температуре и угар шихтовых материалов; исключить аварийные ситуации, связанные с неконтролируемым перегревом металла.

В результате исследований метрологических характеристик установлено, что погрешность световодных измерений температуры жидкого металла не

превышает допустимого для технологического контроля предела (1%). Среднее квадратическое отклонение результатов измерений от показаний образцового измерительного средства, составляет 4,7 ºС.

УДК 621.743.45:669.715:621.792.6

Затуловский А.С., Косинская А.В., Каранда Е.А., Щерецкий В.А.
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г.Киев

ЭКОНОМНОАРМИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ – НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЧАСТИЦЫ

Перспективными материалами, для использования в качестве армирующих элементов при получении литых композиционных материалов, являются отходы ряда производств, например, металлургические шлаки, пылеуносы, золы и др., имеющие в основе оксидную природу. Как армирующие элементы, они обладают важными физико-химическими свойствами: высокой твердостью, структурной и термической стабильностью, химически устойчивы, практически не изменяют своих свойств при рабочих температурах, жаростойки и имеют близкую к жидкому алюминию плотность. Эти материалы являются недорогими и недефицитными, а значит доступными для массового машиностроения.

Для получения композитов данной системы использовали жидкофазный метод: литье гетерогенного расплава, с предварительно введенными замешиванием в жидкий сплав алюминия, неметаллическими частицами. В качестве матричного применяли литейные сплавы АК-12; АК5М2; АК12М2МгН. Армирующими компонентами служили порошки вагранoчного шлака, отходов шамотного и камнелитейного производства. Размеры используемых частиц, находились в пределах 10-300 мкм. Введение их в расплав осуществляли при температуре 750 ± 20^0С и скорости вращения замешивающего устройства 300 мин$^{-1}$. Количество вводимого армирующего компонента составляло 1-10 об.%.

Установлено, что на количество и характер распределения армирующей фазы в композите существенное влияние оказывает качественный и фракционный состав выбранного армирующего материала. Для каждого вида существует определенная область оптимальной зернистости применяемых порошков, обеспечивающая равномерность их распределения в матрице и высокую сте-

пень усвоения. При уменьшении размера частиц степень замешивания и адгезионного взаимодействия ухудшаются, что приводит к сегрегации и образованию скоплений армирующих элементов. При уменьшении диаметра частиц менее 1,5 мм степень адгезионного взаимодействия улучшается. На изменение структуры сплава оказывают влияние частицы размером 100 мкм и менее. При введении порошков фракции 100…600 мкм измельчение структурных составляющих сплава происходит местами. Стабильное уменьшение зерна алюминиевого сплава происходит в случае использования частиц величиной менее 100 мкм. Более мелкие частицы (10-20 мкм) имеют наибольшее влияние на структуру матрицы, оказывая модифицирующее воздействие на процесс структурообразования алюминиевого сплава, способствуют заметному уменьшению зерна. Присутствие неметаллического наполнителя в алюминиевом сплаве обусловливает изменение физико-механических и триботехнических свойств ЛКМ. В сравнении с матричными сплавами, при температуре 200^0С граница текучести у ЛКМ повышается на 20% и находится на уровне композитов, при получении которых используют волокна карбида кремния. Изменяются прочностные свойства и кинетика деформирования ЛКМ. Установлено наличие связи между фракционным составом вводимого армирующего компонента, его количеством в композите и показателями прочности. Возрастание количества армирующей фазы, независимо от состава матричного сплава, способствует повышению модуля упругости, показатели которого приближаются к характеристикам композитов, армированных частицами карбида и керамическими волокнами. Повышение дисперсности вводимой армирующей фазы, связанное с возрастанием величины общей поверхности контакта, приводит к росту значений модуля упругости. В то же время наблюдается снижение пластичности ЛКМ по сравнению с исходными сплавами. Установили также, что армирование алюминиевых сплавов приводит к снижению коэффициента трения, как при увеличении скорости скольжения, так и прилагаемого давления. Возрастает ресурс стабильной работы материалов, уменьшается их износ. Например, при содержании шамотных частиц 1-2 об.% при нагрузке 8кг/см^2, по сравнению с исходным сплавом АК12М2МгН, величина износа у ЛАМ снижается на 30 %, и почти в 2,0 раза при количестве частиц 5 – 7 об.%. Композиты на основе сплава АК5М2 с камнелитыми частицами по износостойкости превышают сплав-основу при нагрузке 6 кг/см^2 на 16- 20 %, а при нагрузке 12 кг/см^2 – на 30 – 35 %.

Из вышеизложенного следует, что использование дешевых и недефицитных отходов в качестве армирующих наполнителей при производстве композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов позволяет добиться повышенных эксплуатационных характеристик по сравнению с серийно применяемыми триботехническими материалами при значительном снижении затрат на их производство

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, Сиренко Е. А.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

E-mail: edzakharchenko@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСПРЕСС –АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Основанный на законах охлаждения Ньютона и Фурье термический экспресс-анализ затвердевания становится более актуальным в силу его доступности и быстродействия, а также необходимости точного прогноза микроструктуры, технологических и механических свойств литых сплавов до заливки литейных форм.

В термическом анализе на основе закона Ньютона (**НТА**) используется одна термопара, а в многоточечном методе по закону Фурье (**ФТА**) – обычно две термопары. В обоих методах регистрируются кривые охлаждения, а также их первые и вторые производные.

В отделе термометрии и физико-химических исследований изучаются и сопоставляются современные методики **НТА** и **ФТА**, кратко описанные в зарубежной литературе. Особое внимание уделяется обоснованности выбора соответствующих уравнений теплового баланса.

1. Термоанализ Ньютона

1.1 Упрощенные методики **НТА** без использования нулевой (базовой) линии [1,2].

Нулевая линия (z) представляет эволюцию темпа охлаждения, который сплав показал бы, если бы латентная (скрытая) теплота затвердевания отсутствовала. Использование **НТА** без z вызывает возражения. Однако, экспери-

ментально показано [2], что этот упрощенный метод позволяет выявлять изменения механизма затвердевания и микроструктуры.

а) В предположении, что темп теплоотвода зависит только от термического сопротивления на границе образца, можно составить уравнение

$$C_L \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = L_S \frac{\partial f_S}{\partial \tau} - \alpha_\infty \cdot \frac{(T - T_\infty)}{M},$$

где C_L- объемная теплоемкость жидкости, Дж/(м^3·^{o}C); $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ - темп охлаждения, ^{o}C/сек; L_S - латентная теплота затвердевания, Дж/м^3; α_∞ - коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности образца, Вт/(м^2·^{o}C); $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$ - темп формирования твердой фазы, 1/сек; T – мгновенная температура образца, ^{o}C; M=V/F – модуль образца, м; (V – объем, F – поверхность).

Форма кривой $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$ резко изменяется после графитосфероидизирующей обработки исходного чугуна, что позволяет определять тип полученного чугуна [2].

б) Когда затвердевание аппроксимируется охлаждением при постоянном коэффициенте теплоотдачи получим

$$m(f_S C_S \partial T + f_L C_L \partial T - L_S \partial f_S) = -K \cdot A(T - T_\infty)\partial \tau,$$

S – твердое и L – жидкое состояние; m – масса образца, кг; K – суммарный коэффициент теплопередачи жидко-твердой смеси, Вт/(м·^{o}C) (кондукция, конвекция, излучение); A – площадь теплоотдающей поверхности пробоотборника, м^2.

Метод требует дополнительного изучения и проверки.

1.2 **НТА** с использованием нулевой линии [1].

Мгновенный тепловой поток Q_S, выделяющийся при затвердевании (Вт/м^3) равен

$$Q_S = C_{LS} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} - Q_{ex}/M = C_{LS}\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} - z\right),$$

где Q_{ex} - тепловой поток из расплава в окружающую форму, Вт/м^3; z – нулевая линия; C_{LS} - объемная теплоемкость жидко-твердой смеси, Дж/(м^3 ·^{o}C);

$$C_{LS} = \rho_L C_L (1 - f_S) + \rho_S C_S f_S$$

$$z = z_L(1 - f_S) + z_S f_S,$$

где $z_L = \left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right)_L$; $z_S = \left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right)_S$.

Этот метод успешно апробирован только на цветных сплавах систем Pb-Sn и Al-Si.

2. Термоанализ Фурье.

Тепловой баланс при перепадах температуры по сечению образца не выше 6 °С [3] определяется выражением

$$C_{L,S}\frac{\partial T}{\partial \tau} = K \cdot \nabla^2 \mathrm{T} + \mathrm{L_S}\frac{\partial f_S}{\partial \tau},$$

где $\nabla^2 \mathrm{T}$ - температурный Лапласиан, °С/см^2.

Объемный тепловой поток Q_s, обусловленный выделением латентной теплоты затвердевания, равен

$$Q_S = C_{L,S}\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} - \alpha \nabla^2 \mathrm{T}\right) = \mathrm{C_{L,S}}\left(\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \tau} - \mathrm{z_\Phi}\right),$$

где α = K/$C_{L,S}$ – температуропроводность жидко-твердой смеси, м^2/сек; $\mathrm{z_\Phi}$ - нулевая кривая, заданная параметром $\alpha \nabla^2 \mathrm{T}$.

$$\nabla^2 \mathrm{T} = \frac{4(T_2 - \mathrm{T_1})}{\mathrm{R_2^2 - R_1^2}},$$

где T_1 и T_2 – показания двух термопар, размещенных на расстоянии R_1 и R_2 от оси симметрии,

$$\alpha = \frac{\partial T}{\partial \tau} \Big/ \nabla^2 T;$$

$$\alpha = \alpha_L(1 - f_S) + \alpha_S \cdot f_S;$$

$$\mathrm{C_{L,S}} = \mathrm{C_{L,S}}(1 - \mathrm{f_S}) + \mathrm{C_{L,S}} \cdot f_S,$$

где мгновенное значение доли твердой фазы f_s в момент времени τ равно

$$f_S = \frac{1}{L_S}\int_{\tau_{SS}}^{\tau} Q_S d\tau,$$

где τ_{SS} - время начала затвердевания.

Объемная латентная теплота затвердевания равна

$$L_S = \int_{\tau_{SS}}^{\tau_{ES}} Q_S d\tau,$$

где τ_{ES} - время конца затвердевания

Для расчета мгновенных значений $\mathrm{z_\Phi}$, Q_S, L_S и f_S как функций времени, используется процедура итерации.

Сравнение методов Ньютона и Фурье показало, что в целом **НТА** применим для определения общего эффекта, например, латентной теплоты и макрокинетики затвердевания. Метод **ФТА** информативнее, точнее и надежнее при опре-

делении локальной кинетики затвердевания и структурообразования. **ФТА** успешно апробирован на эвтектическом сером чугуне [4].

Литература

1. H.Cruz, L.Lopez, B.Campillo, C.Gonzalez-Rivera. Materials Sciense Forum. Vol.509 (2006), pp. 147-152.
2. M.R.Chavez, A.Amaro, C.Flores, A.Juarez, C.Gonzalez-Rivera. Materials Sciense Forum. Vol. 509 (2006), pp. 153-158
3. J.C.Baez, C.Gonzalez, M.R.Chavez, M.Castro, J.Juarez. Journal of Materials Processing Technology, Vols.153-154 (2004) pp.531-536.
4. E.Fras, W.Kapturkiewicz, A.A.Burbelko, E.Guzik. Advanced Materials Research, vols. 4-5 (1997), pp.445-452.

УДК 620.18

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, Е. А. Сиренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

E-mail: edzakharchenko@mail.ru

МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И МАТЕРИАЛЫ СОВРЕМЕННОЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ СПЛАВОВ

Цветная металлография, основанная на интерференционном эффекте тонких пленок на полированной поверхности сплавов, обладает лучшей дифференцирующей способностью, большей чувствительностью к ликвации, ориентации зерен и напряженному состоянию по сравнению с черно-белой металлографией. Она добавляет новые функции для традиционной металлографии и имеет перспективы широкого применения для изучения структур затвердевания и твердофазных превращений литых сплавов.

Решающее влияние на цветовой эффект оказывают три следующих фактора: состав реагента для травления, температура травления и время (длительность) травления. Известно много методов цветной металлографии, использующих поляризованный свет, химическое осаждение (метод травления), постоянный потенциал, вакуумные покрытия, ионное напыление, тепловое окрашивание. Метод травления горячими щелочами – самый простой и удобный из их числа. Например, в области чугунов цветная металлография с использо-

ванием метода травления горячими щелочами имеет следующие преимущества: выявляет особенности развития процесса затвердевания; выявляет структуру затвердевания при высоких температурах и одновременно трансформацию фаз при пониженных температурах; визуально и быстро выявляет микроликвацию; метод характеризуется высокой чувствительностью. Для изучения процесса зарождения и роста графитной фазы в чугунах цветное травление дополняется структурно-закалочным методом. Наконец, если цвета будут предварительно прокалиброваны на электронном микроанализаторе, этот метод станет полуколичественным или полностью количественным.

Состав, приготовление и назначения реагентов. Щелочной реагент для горячего травления состоит из гидрата натрия (NaOH), гидрата калия (KOH), пикриновой кислоты [$HO{\cdot}C_6H_2(NO_3)_2$] и дистиллированной воды (см. таблицу).

Номер реагента	**Состав реагента для чугунов**				**Режим травления**	
	NaOH, г	KOH, г	Пикриновая кислота, г	Дистиллированная вода, мл	Температура, °C	***Время*** мин
1	28	1	4	200	95-100	10-30
2	100	-	8	200	95-100	1,5-4
3	20	3	4	200	65	10-65
4	40	160	40	200	120	1-1,5
5	28	56	28	200	95-100	1,5-3

Реагент 1 имеет умеренную щелочность и мягкую реакцию; образующиеся цвета обладают хорошей цветовой градацией (постепенностью перехода от одного цвета к другому); реакция – медленная, время травления – длительное и его легко изменять. Реагенты 2 и 4 – сильно щелочные, реакция бурная, резкие цвета могут быть получены за короткое время. Реагенты 2 и 4 наиболее подходят для травления низкокремнистых чугунов. Реагент 5 вызывает бурную реакцию, имеет короткое время травления и особенно подходит для травления чугунов с шаровидным графитом, содержащих алюминий. Реагент 3 имеет меньшую щелочность по сравнению с Реагентом 1; требует более низкую температуру травления; пригоден для изучения невооруженным глазом макроморфологии затвердевания при малых увеличениях.

Процедура приготовления травильного реагента состоит в следующем. Первым в воду добавляется NaOH и перемешивается для ускорения растворения;

затем добавляется пикриновая кислота и перемешивается для получения однородного раствора. Однородный раствор нагревают до нужной температуры (лучше всего нагрев выполнять в ванне постоянной температуры) и затем погружают образец металла в раствор. После выдержки образца при постоянной температуре в течение заданного времени вынуть образец, промыть дистиллированной водой, затем тщательно смыть воду чистым этиловым спиртом. Образец после высушивания готов для металлографического исследования.

Особенности травления образцов. Время травления при постоянной температуре оказывает сильное влияние на скорость образования тонкой интерференционной пленки на полированной поверхности образца. При увеличении длительности травления цвет пленки постепенно изменяется и показывает развитие процесса выявления структуры изучаемого образца. Последовательность изменения цвета интерференционной пленки: коричневый, синий, светло-синий, светло-желтый, желто-коричневый, оранжевый, сине-зеленый, красно-желтый.

Гарантией однозначного результата служит хорошо контролируемая температура травильного раствора. Чем выше температура, тем более коротким должно быть время травления. Для обеспечения хорошего цветового контраста для различных образцов или получения того же самого либо подобного цвета для определенной фазы необходимо поддерживать постоянство температуры при изменении времени травления. Для определенной структуры время, необходимое для достижения определенного цвета зависит от химического состава сплава (в случае чугунов -–от содержания кремния). Для образцов, щелочное травление которых затруднено, рекомендуется предварительное травление обычными реагентами для повышения активности поверхности; это может ускорить образование интерференционной пленки.

В отделе термометрии и физико-химических исследований ФТИМС НАН Украины метод цветной металлографии с использованием травления горячими щелочами усовершенствован применительно к термографическому экспресс-анализу структуры и химического состава чугунов.

УДК 621.74; 669.131.7

Б. Г. Зеленый, В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕГИРОВАНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПЕРЛИТНОГО КЛАССА

Легирование в сочетании с модифицированием является одним из основных методов воздействия на изменение параметров структуры и свойств высокопрочного чугуна (ВЧ). Исследовано влияние Cu, Ni, Mn, Mo, V, Sn при раздельном и комплексном легировании ВЧ (3,32-3,74 % C; 2,41-2,82 % Si; ≤ 0,1 % P; ≤ 0,02 % S; 0,041-0,06 % Mg) на процессы формирования перлитной структуры металлической основы чугуна в отливках с толщиной стенки до 45 мм в литом состоянии. Легирующие элементы вводили в расплав чугуна при его перегреве в печи, в ковш или реакционную камеру при сфероидизирующем модифицировании.

Процессы, происходящие при перлитизации матрицы, основываются на превращении аустенита по стабильной системе. При этом перлитизация означает, что процесс ферритизации тормозится или прекращается, а эвтектоидное превращение в чугуне с образованием перлита происходит с высокой скоростью при сильном переохлаждении. Элементы, которые замедляют диффузию углерода в чугуне или влияют на распределение графита в эвтектике существенно влияет на ход этого процесса. Такие элементы как Cu, Sn, Mn и др. позволяют получать полностью перлитную матрицу, однако их влияние на механические свойства ВЧ различно.

Повышая степень перлитизации металлической основы чугуна и дисперстность перлита, медь существенно влияет на повышение прочностных свойств ВЧ. С точки зрения повышения прочности ВЧ легирование Cu является наиболее эффективным. При 1,2 % Cu $\sigma_в$ достигает 920 МПа, однако его пластичность (δ) и ударная вязкость (КС) уменьшается почти в 2 раза из-за резкого увеличения количества перлита и его упрочнения в сравнении с низколегированным (0,3 % Cu) чугуном. Легирование Cu (0,4-0,6 %) способствует уменьшению в структуре ВЧ количества феррита с 40-75 % до 10-25% в зависимости от толщины стенки отливки. При 1,0 % Cu структура ВЧ в тонкостенных отливках перлитная без включений структурносвободных карбидов.

В отличии от Cu легирование Ni (до 1,0 %) способствует повышению ферритной составляющей металлической основы ВЧ с увеличением толщины стен-

ки отливки, а изменение характеристик прочности коррелируются с изменением соотношения структурных составляющих. При легировании Ni большую роль, чем упрочнение феррита, в повышении прочности ВЧ играет увеличение перлитной составляющей. Рекомендуется добавка Ni в ВЧ – 0,5-1,0 %.

Добавка Sn в количестве 0,1 % способствует получению полность перлитной структуры ВЧ, повышению его прочности и твердости. Обладая низкой температурой плавления Sn равномерно растворяется в расплаве, а из-за высокой температуры кипения его потери (угар) незначительны. Легирование ВЧ Sn свыше 0,1 % приводит к повышению твердости, появлению хрупкости из-за возможного образования карбидов по границам зерен. Легирование Mn (≥ 0,8 %) и Mo (≥ 0,3 %) способствует перлитизации структуры ВЧ, но приводит к появлению хрупких фаз по границам зерен. Влияние Cu на перлитизацию ВЧ почти в 10 раз сильнее Ni (при 0,5 % Cu металлическая основа в отливках с толщиной стенки до 30 мм становится практически полностью перлитной), но приблизительно в 10 раз слабее Sn.

Выявлено влияние способа легирования на структуру и свойства ВЧ. Установлено более эффективное действие легирующих на изменение параметров структуры металлической основы при вводе их в составе модифицирующей смеси в сравнении с традиционными методами легирования. Особенно это сказывается в отливках с толщиной стенки до 25 мм. Увеличение перлитной составляющей (85-92 %) в структуре достигается при содержании Cu в чугуне 0,30-0,35 %. При традиционных методах легирования (в печи) аналогичная структура образуется при содержании Cu не менее 0,50 %. Влияние Ni на перлитообразование при вводе его в составе модифицирующей смеси менее заметно. При добавке Ni до 0,60 % количество перлита в структуре образцов с толщиной стенки 30 мм не превышало 45 %. Более эффективно влияет на изменение параметров структуры легирование чугуна Mo. При вводе 0,30 % Mo (в составе модификатора) количество перлита увеличилось до 75 % в образцах сечением 30 мм. Карбидной составляющей не обнаружено. Увеличилась в 1,5-2 раза дисперстность перлита.

Комплексное легирование при всех методах их ввода в расплав наиболее эффективно способствует получению высоких показателей прочности и пластичности ВЧ в литом состоянии. Таким образом, легирование чугуна в процессе модифицирования является более экономичным и эффективным методом регулирования структуры и свойств высокопрочного чугуна.

УДК 621.74.08:669.131.7:621.785

Л. Х. Иванова, Я. С. Маймур, А. Ю. Калашникова, Д. В. Муха, Н. А. Гилуч

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВАЛКОВЫХ ЧУГУНОВ ПОСЛЕ УПРОЧНЯЮЩЕГО ОТЖИГА

Были проведены исследования влияния разных режимов упрочняющего отжига на микроструктуру исследуемых валковых чугунов.

Упрочняющая тепловая обработка включала нагрев образцов от рабочего слоя и нижних шеек валков со скоростью 300 град/ч до 660, 710 и 760 ^{o}C и выдержку при этих температурах в течение 4, 6 и 8 ч, охлаждение со скоростью 120 град/ч. Тепловую обработку проводили на специальной установке, включающей муфельную печь и систему автоматики. Для позиционного регулирования нагрева и охлаждения по заданной программе использовали автоматической программное регулирующее устройство модели РУ5-01М в комплекте с автоматическим измерительным прибором типа ПСР-08М.

После упрочняющей тепловой обработки установлено, что отжиг при 660 ^{o}C не приводил к заметным изменениям в чугуне рабочего слоя валков по сравнению с литым состоянием. Подъем температуры до 710 ^{o}C развязывал процесс сфероидизации. Дальнейшее увеличение температуры отжига до 760 ^{o}C в исследуемых чугунах не только увеличивало степень сфероидизации цементита, но и приводило к развязыванию процесса графитизации. Появлялись небольшие графитные включения. В результате этого повышалось количество феррита в структуре чугуна.

В структуру матрицы чугуна шеек валков отжиг при 660 ^{o}C в течение 4 ч не вносил существенных изменений. С увеличением времени выдержки до 8 ч в структуре появлялись перлитные колонии, в которых было заметно дробление цементитных пластин и их частичная сфероидизация. В то же время перлит, окружавший фосфидную эвтектику, оставался не сфероидизированным, сохраняя исходное тонкое строение.

Повышение температуры отжига до 710 ^{o}C способствовало развитию сфероидизации и графитизации перлитного цементита в исследуемом чугуне. При температуре 760 ^{o}C и продолжительности выдержки при отжиге 4 ч в исследуемом чугуне начиналась аустенитизация. Аустенит сначала появлялся в периферийных участках эвтектических зерен на границах перлитных колоний. Из-за

исходной микроликвации кремния и его перераспределения при отжиге между аустенитом, ферритом и в перлитной матрице появлялась ажурная аустенито-феррито-цементитная структура. При охлаждении аустенит превращался в темнотравящийся сорбитообразный перлит. Увеличение времени выдержки до 8 ч способствовало большему развитию сфероидизации перлитного цементита и аустенитизации матрицы. Таким образом, в результате такого отжига получали многофазную структуру матрицы – пластинчатый перлит с микротвердостью H_μ=3383 МПа, зернистый перлит с H_μ=2844 МПа, сорбитообразный перлит с H_μ=2805 МПа и феррит с микротвердостью H_μ=1863 МПа. Микротвердость перлита после исследованной тепловой обработки по сравнению с исходным литым состоянием (H_μ=3400 МПа) снижалась. В результате количество феррита увеличивалось.

Травление образцов из чугунов от шеек валков пикратом натрия позволило выявить микронеоднородность матрицы по кремнию: кремнием были обогащены дендриты бывшего аустенита – они окрашены в темный цвет, а периферийные участки эвтектических колоний остались светлыми, в них содержание кремния низкое. Таким образом, в условиях не очень длительного пребывания при температурах упрочняющего отжига перераспределения кремния не происходило.

В результате проведенного эксперимента для условий вальцелитейного производства выбран оптимальный режим упрочняющей термической обработки валков из высокопрочных чугунов с шаровидным или вермикулярным графитом – нагрев до 710 ^{o}C с выдержкой в течение 6…8 ч, который приводил к увеличению прочностных свойств чугуна рабочего слоя и шеек в 1,5…2 раза.

При скорости нагрева 25 град/ч определение продолжительности выдержки при упрочняющей низкотемпературной тепловой обработке валков из ЧШГ можно производить по следующей формуле

$$\tau_{ЧШГ} = 8{,}0306 + 4{,}4674\ \mathrm{d};\ \mathrm{R}^2 = 0{,}9902,$$

где d-диметр валков, м.

Учитывая, что ЧВГ обладает большей на 30…60% теплопроводностью, чем ЧШГ в вышеприведенную формулу ввели поправочный коэффициент. При этом формула будет иметь следующий вид $\tau_{ЧВГ} = 5{,}6073 + 3{,}1414\mathrm{d};\ \mathrm{R}^2 = 0{,}991,$

Скорость охлаждения во избежание образования вторичных напряжений должна быть 25 град/ч.

УДК 621.74

Д.В. Кеуш, І.М. Гурія, Р.В. Лютий, О.А. Анісімова

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

ВПЛИВ ГЛИНЯСТОЇ СКЛАДОВОЇ НАПОВНЮВАЧА НА УТВОРЕННЯ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КВАРЦ – ОРТОФОСФОРНА КИСЛОТА

Неорганічні зв'язувальні системи, у яких зміцнення відбувається при взаємодії ортофосфорної кислоти та частини вогнетривкого наповнювача, без додавання спеціальних затверджувачів, в ливарному виробництві не використовувались. Більшість наповнювачів в основному складаються із кремнеземистих та інших оксидних мінералів, які до подібної взаємодії не схильні. З іншого боку, при виробництві вогнетривких виробів широко використовують зв'язувальні компоненти, які утворюються із ортофосфорної кислоти та різноманітних вогнетривів – динасу, дистен-силіманіту, каолініту, шамоту тощо, при нагріванні понад 300 ^{o}C [1].

Нами реалізований даний механізм зміцнення у стрижневих сумішах і встановлено, що суміші із алюмосилікатними матеріалами (пірофілітом та дистен-силіманітом) зміцнюються при 300 ^{o}C, із кремнеземистими (пісок та пилоподібний кварц) – при 320 ^{o}C, із цирконом – при 360 ^{o}C.

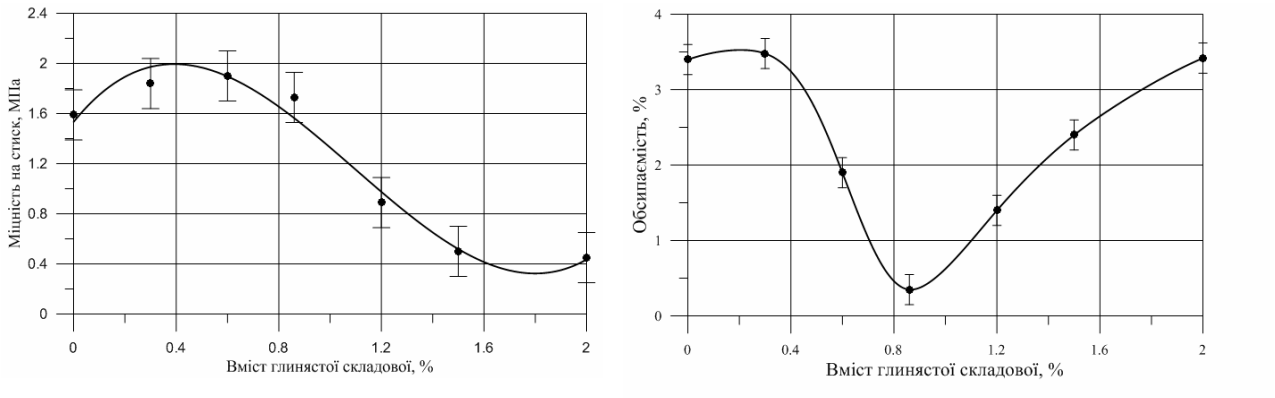
Найбільш цікавою з технологічної точки зору є можливість зміцнення сумішей із кварцовим наповнювачем через його максимальну поширеність у ливарному виробництві. Нами встановлено, що зміцнення сумішей відбувається внаслідок взаємодії часток наповнювача розмірами менше 0,2 мм із ортофосфорною кислотою з утворенням фосфатів кремнію. Кількість дрібної фракції призводить до інтенсифікації процесу, тому в суміш бажано додавати пилоподібний кварц. Але і без його додавання можливо досягти високого рівня міцності (понад 2,0 МПа при стисканні), тобто при цьому кислота реагує безпосередньо з піском.

В такому разі для забезпечення стабільного рівня властивостей суміші на перший план виступають гранулометричні характеристики піску: середній розмір зерен, коефіцієнт однорідності, кількість глинястої складової та кількість шкідливих домішок. Більшість цих питань детально розглянуті в нашому дослідженні [2], а особливо слід зупинитися на впливі глинястої складової.

За основу був взятий Дніпровський кварцовий пісок $3К_5О_203$, який за даними попередніх досліджень забезпечує найвищу міцність сумішей з ортофосфорною кислотою. Початкова кількість глинястої складової в піску 0,86%. Глинясту

складову з нього видалили методом вимивання у стандартному розчині води з гідроксидом натрію (ГОСТ 29234.1–91). Після цього її відокремили від розчину, отримавши в результаті сухий залишок. Із отриманого чистого піску додаванням до нього глинястої складової отримали ряд наповнювачів із різним її вмістом, при чому інші гранулометричні показники залишалися незмінними.

Випробування проводили на стандартних циліндричних зразках, зміцнених при 300…320 °С, результати визначення міцності і обсипаємості суміші наведені на рис. 1 (а, б).



а б

Рис. 1 – Вплив глинястої складової в піску на властивості сумішей

Встановлено, що глиняста складова значною мірою впливає на властивості готової стрижневої суміші. Вміст її понад 1,0% знижує міцність, підвищує обсипаємість, тому її можна вважати шкідливою домішкою. Але у кількості до 0,8% вона впливає на властивості позитивно. Це пов’язано із тим, що в даному піску кількість частинок дрібної фракції невисока, і глиняста складова поповнює цю недостачу, вступаючи у взаємодію з H_3PO_4. Утворюється більше адгезійних зв’язків, що виражається у значному покращенні поверхневої міцності (зниженні обсипаємості).

Таким чином, для виготовлення стрижнів із зв’язувальною системою кварц – ортофосфорна кислота бажаним вмістом глинястої складової в піску є 0,8%. Цій характеристиці відповідає ряд вітчизняних наповнювачів.

Список літератури

1. *Копейкин В.А., Клементьева В.С., Красный Б.Л.* Огнеупорные растворы на фосфатных связующих. – М.: Металлургия, 1986. – 102 с.

2. *Лютий Р.В., Кочешков А.С., Кеуш Д.В.* Исследование влияния зернового состава кварцевых наполнителей на свойства смесей с фосфатами кремния // Вестник ДГМА, 2011. – №4(25). – С.98 – 103.

УДК 621.746.393.002.645

Г. Ш. Кирия, Т. С. Щеглова, Л. Х. Иванова, А. С. Алексеенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РЕГУЛИРУЕМОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ИЗЛОЖНИЦ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

Еще в 1957 г. Британским подкомитетом по изложницам было высказано предположение, что поверхностное окисление изложниц, происходящее во время их службы, уменьшает возможность приваривания стали к изложницам. Отмечалось влияние высокотемпературного окисления изложниц не только на их склонность к привариванию, но и на трещиноустойчивость в эксплуатации.

Целью работы была разработка технологического процесса регулируемой паротермической обработки изложниц в литейной форме, обеспечивающей оксидирование рабочей поверхности изложниц, что увеличивает их эксплуатационную стойкость.

Паротермическое оксидирование изложниц в литейных формах целесообразно осуществлять на заводах, производящих и эксплуатирующих изложницы. Если же изложницы поступают на завод со стороны, паротермическую обработку изложниц можно осуществить до ввода их в эксплуатацию или в промежутках между наливами. В первом случае процесс обработки усложняется, так как необходимо специально нагреть изложницу до температуры паротермической обработки. Лучше паротермическую обработку выполнить после первого налива сразу после извлечения слитка, когда изложница имеет нужную для обработки температуру.

При серийном производстве изложниц без необходимости их ускоренного охлаждения в литейной форме целесообразно проводить оксидирование с помощью песчаного стержня, пропитанного водой и размещенного в полости изложницы, охлаждающейся в форме.

Существует несколько вариантов нерегулируемой паротермической обработки в литейных формах без ускоренного охлаждения отливок изложниц. Например, с предварительным размещением на плацу сосуда с водой. Последующая установка на плац формы с горячей отливкой таким образом, чтобы сосуд с водой оказал-

ся внутри полости отливки, который обеспечит паротермическую обработку. Под действием излучаемого отливкой и стержневой смесью тепла произойдет нагрев, кипение и испарение воды. Причем, вследствие высокой температуры нагрева (более 800^0C) все эти процессы протекают очень быстро. Рассмотренный вариант прост в исполнении, однако, имеет и недостатки.

Альтернативой может служить вариант, в котором “сосудом” для воды является пористое огнеупорное тело, например, стержень из ЖСС. При пористости ~50% объем стержня для размещения заданного количества воды должен быть в два раза больше объема обычного сосуда. Основное достоинство этого варианта заключается в том, что для его осуществления не нужны сосуды для воды. Что же касается серийного изготовления стержней из ЖСС, то организовать их формовку и сушку в литейном цехе несложно. Паротермическое оксидирование без ускоренного охлаждения изложницы в литейной форме можно также осуществлять путем дозированной подачи воды в полость отливки по трубопроводу. Одновременно с охлаждением обеспечивается оксидирование рабочей поверхности изложниц.

Паротермическую обработку изложниц в литейных формах можно проводить без ускоренного охлаждения и с ускоренным охлаждением, например, водой. Первый вариант более простой, но применять его следует тогда, когда имеется резерв площадей для длительного охлаждения отливок в опоках, и достаточное количество опочной оснастки. В противном случае, предпочтительным является второй вариант - паротермическая обработка с ускоренным охлаждением отливки в форме. К выбору метода ускоренного охлаждения изложниц в литейных формах следует относиться осторожно и соблюдать принцип - охлаждение должно быть косвенное, без попадания охладителя на поверхность отливки. Нами разработаны технология и устройство ускоренного охлаждения изложниц в литейных формах, соблюдающие данный принцип. Для получения оксидного покрытия толщиной 0,1 мм на изложницах массой 7...12 т необходимо испарить в полости отливки по расчету не более 10 литров воды. При этом должна обеспечивается герметизация полости путем исключения зазора между формой с отливкой и плацем охлаждения. Плавное снятие избыточного давления в полости может быть обеспечено песчаным затвором, уплотняющим разъем между формой и плацем. Разработанное устройство позволяет осуществить саморегулирование процесса охлаждения изложниц в литейных формах и получить на их рабочей поверхности защитное оксидное покрытие.

УДК 669.14:66.065.5

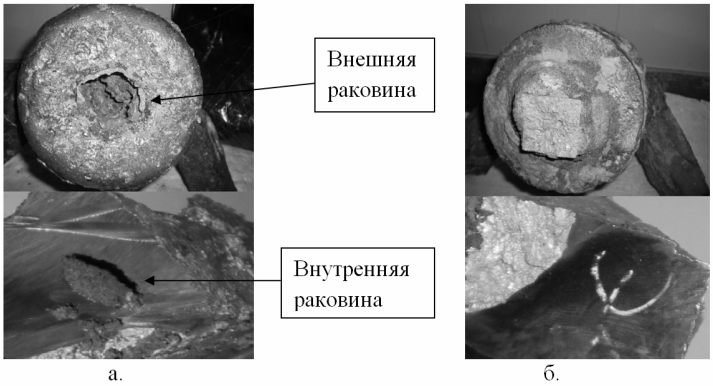
Е.Н. Кищенко

ГВНЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 110Г13Л

Одним из перспективных способов воздействия на структуру и свойства литейных сплавов является обработка расплава электрическим током с различной характеристикой в процессе кристаллизации. Воздействие электрического тока на кристаллизацию металла позволяет эффективно управлять движением расплава, процессами тепломассопереноса, структурой и свойствами отливок [1,2]. Электрообработка расплава создает условия для направленной кристаллизации металла в межэлектродном пространстве. Механизмов воздействия постоянного тока на металл связан с возникновении и развитии эффекта Пельте в жидкой и твердой фазах металла, а также дополнительно прогревает отливку, стабилизируя температурное поле по времени и в ее объёме [3].

В условиях литейного цеха были проведены испытания технологии получения отливок из стали 110Г13Л, включающей применение способа электрообработки металла в процессе его кристаллизации в литейной форме. Обработку отливок электрическим током проводили до окончания процесса кристаллизации. Результаты экспериментов показали, что отливка полученная без применения электровоздействия имеет открытую усадочную раковину, а у отливки, которая подвергалась электровоздействию отсутствует явно выраженная усадочная раковина, а также отсутствует и внутренняя раковина.



Экспериментальные отливки из стали 110Г13Л:
а –отливка без обработки электрическим током
б –отливка после обработкой электрическим током в процессе кристаллизации

Таким образом, применение электровоздействий в процессе кристаллизации отливок из стали 110Г13Л способствует улучшению технологических свойств металла, металл более эффективно заполняет форму и кристаллизуются с

меньшей усадкой. Как показал анализ микроструктуры экспериментальных отливок электрический ток оказывает модифицирующее действие. Микроисследование образцов показало, что структура металла по сечению исследуемых проб одинаковая и состоит из аустенита, тонкопластинчастого перлита и карбидов, выделяющихся как внутри, так и по границам зерен, форма карбидов преимущественно игольчатая. Электровоздействия способствуют размельчению зерен. Твердость металла в отливке, полученной без электровоздействий составляет 242±0,08 НВ, в образце после применения электровоздействия повысилась на 12.4% и достигла 272 ±0,07 НВ.

Литература:

1. Кищенко Е.Н., Ткач В. В., Орел Т. В Улучшение качества отливок электрическим током в процессе кристаллизации // Сборник конференции ПИТ Кривой Рог 2010.- Вып.10.-С.25
2. Кищенко Е.Н., Ткач В.В. «Behandlung von flüssigem Metall elektrischen Strom» // Вестник ГВУЗ «Национальный горный институт» Днепропетровск 2012 р.
3. Башмакова Н.В. Особенности кристаллизации алюминиевых сплавов, выплавленных на основе вторичных шихтовых материалов // V региональная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Доклады аспирантов и молодых ученых. – Новокузнецк, 2005. С.28-50

УДК 621.74.043

С.В. Конончук, В.В. Пукалов

Кіровоградський національний технічний університет МОН Укріїни, м. Кіровоград

ШВИДКІСНИЙ СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ФОРМ

Ливарне виробництво як в Україні, так і всьому світі залишається основним постачальником заготовок та готової продукції для інших галузей народного господарства.

Важливе місце в ливарному виробництві займає кокільне литво (друге у % за масою після лиття в піщано-глинисту форму).

Серед таких відомих переваг кокільного литва, як багаторазовість форми (можливість відливати до 10000...20000 виливків), точність розмірів, мале використання виробничих площ, висока продуктивність, можливість механізації та

автоматизації, тощо, є також і недоліки. Основним недоліком кокільного литва є складність виготовлення форм (необхідність використання складних металорізальних верстатів з ЧПК) і їх вартість (виготовлення кокіля середньої складності коштує 10000...30000 грн.), що робить нерентабельним використання кокільного литва в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.

З іншого боку, навіть в умовах масового кокільного виробництва, на етапі проектування чи прототипіювання виникає необхідність швидкого виготовлення дешевої металевої форми. Звичайно можна цього не робити і виготовляти дослідні (прототипні) партії деталей механічною обробкою із суцільної заготовки, чи відливати їх в піщано-глинисту форму. Але, в першому випадку необхідні верстати з ЧПУ і складна механічна обробка, що не гарантує отримання механічних властивостей деталі на рівні відповідних властивостей виливка; в другому випадку необхідна організація дільниці лиття в піщано-глинисту форму.

З метою швидкого виготовлення дешевих, але якісних металевих форм запропоновано спосіб, який дозволяє виготовляти кокілі середньої складності без механічної обробки з порівняно недорогих матеріалів.

Для цього необхідна підмодельна плита 1 (рис. 1), модель 2 (в якості моделі може бути використано готовий виріб чи деталь), наповнювальна рамка 3 з утримуючим контуром 4 і набір спиць 5.

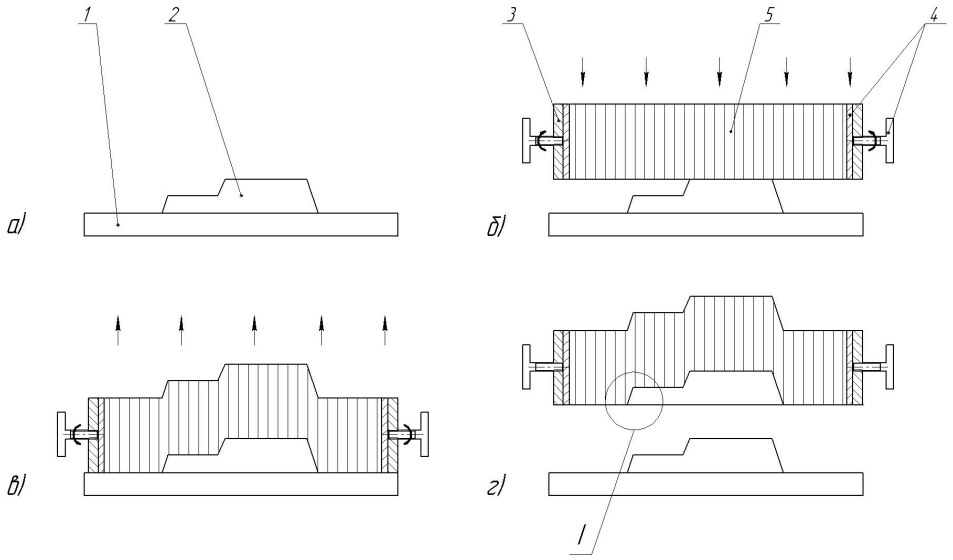


Рисунок 1 – Послідовність виготовлення кокіля

Спиці вибираємо круглого перерізу, щоб їх тертя одна об одну було мінімальним.

Технологія виготовлення форми включає такі операції (див. рис. 1): а) встановлюємо модель на плиту; б) на модель встановлюємо рамку із затисненими в ній спицями; в) послаблюємо утримуючий контур поворотом затискачів. Спиці

разом з рамкою опускаються на плиту. Для кращого опускання плиту можна встановити на вібростіл; г) після опускання спиць затискаємо їх в утримуючому контурі – напівформа готова.

Для усунення ступінчастої поверхні на похилих місцях можна використати ручну шліф-машинку (рис. 2).

/ збільшено

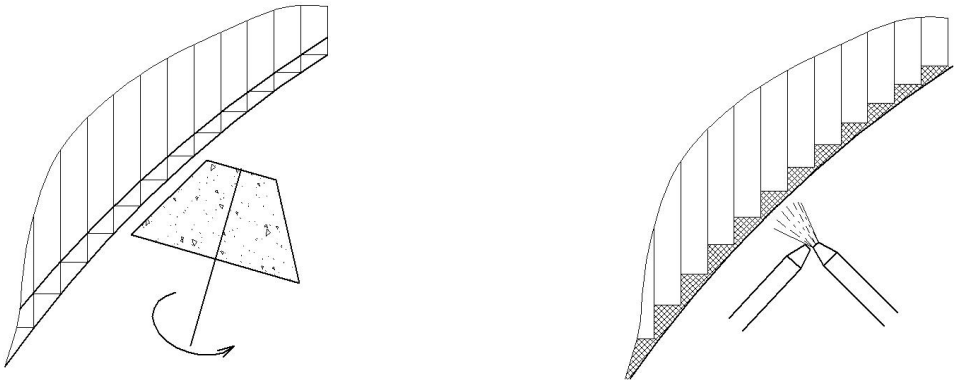


Рисунок 2 – Способи усунення ступінчастої поверхні кокіля

Цей недолік може також бути усунений нанесенням на формоутворюючу поверхню кокільної фарби чи обмазки. Крім того, чим менше переріз спиць, тим менше ступінчастість поверхні.

Таким чином можна виділити наступні переваги такої форми: швидкість виготовлення, мала вартість виготовлення та матеріалів при забезпеченні високої якості литва, зручність використання, можливість виготовлення в умовах будь-якого виробництва, можливість повторного використання набору спиць для виготовлення іншої форми, однакова товщина стінок кокіля (важлива умова для забезпечення направленого затвердівання виливка), тощо.

УДК 621.745.34

С.В. Конончук, Т.Г. Сабирзянов, В.В. Пукалов

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград

ОСОБЕННОСТИ ПЛАВКИ ЧУГУНА В КОКСОВОЙ ВАГРАНКЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДОГРЕТОГО И ОБОГАЩЕННОГО КИСЛОРОДОМ ДУТЬЯ

На сегодня важное место в литейном производстве занимает вагранка, как наиболее распространенный чугуноплавильный агрегат литейных цехов.

Из-за имеющейся тенденции децентрализации крупных литейных предприятий и создание мини-заводов, с одной стороны, и постоянное увеличение дефицита железосодержащего сырья для металлургии черных металлов, с другой, делают вагранку наиболее благоприятным плавильным агрегатом для получения относительно недорогого железосодержащего сырья (чугуна, синтикома) для литейных цехов машиностроительных предприятий. Однако постоянное увеличение дефицитности и цены литейного кокса поставило ряд задач по улучшению работы коксовых вагранок, направленных на снижение расхода топлива, повышение производительности вагранок, поддержания температуры чугуна на оптимальном уровне.

Несмотря на известные достижения в конструировании и эксплуатации вагранок существуют значительные резервы улучшения работы этих печей. От современной вагранки необходимо добиваться высокой температуры перегрева металла, постоянства химического состава и механических свойств чугуна, чего трудно достичь из-за нестабильности таких параметров, как размеры материалов шихты, качество и размеры кокса, температура, давление и влажность дутья, содержание в дутье кислорода и т.п. С другой стороны, наличие в колошниковых газах угарного газа свидетельствует о химическом недожоге кокса и значительных потерях теплоты. Поэтому исследования, направленные на улучшение работы коксовой вагранки не теряют своей актуальности.

Одним из наиважнейших процессов ваграночной плавки является процесс горения кокса, характеризующийся обобщенной реакцией неполного горения углерода кокса [1]: $C + \alpha O_2 = 2(1 - \alpha) CO + 2(\alpha - 0{,}5) CO_2$. В печах шахтного типа эффективный коэффициент избытка кислорода α находится в пределах $0{,}5 < \alpha < 1$, на что указывает наличие в колошниковых ваграночных газах обеих оксидов углерода – CO и CO_2.

Получены зависимости коэффициента α от относительного расхода кокса m_K для обычного (α), подогретого (α_t) и обогащенного кислородом дутья (α_{O2}):

$$\alpha = 2{,}2/m_K + 0{,}58;$$

$$\alpha_t = 1{,}45/m_K + 0{,}56;$$

$$\alpha_{O2} = 1{,}8/m_K + 0{,}57.$$

При использовании данных зависимостей в математической модели ваграночного процесса были построены номограммы взаимосвязей между параметрами ваграночного процесса (рис. 1-2).

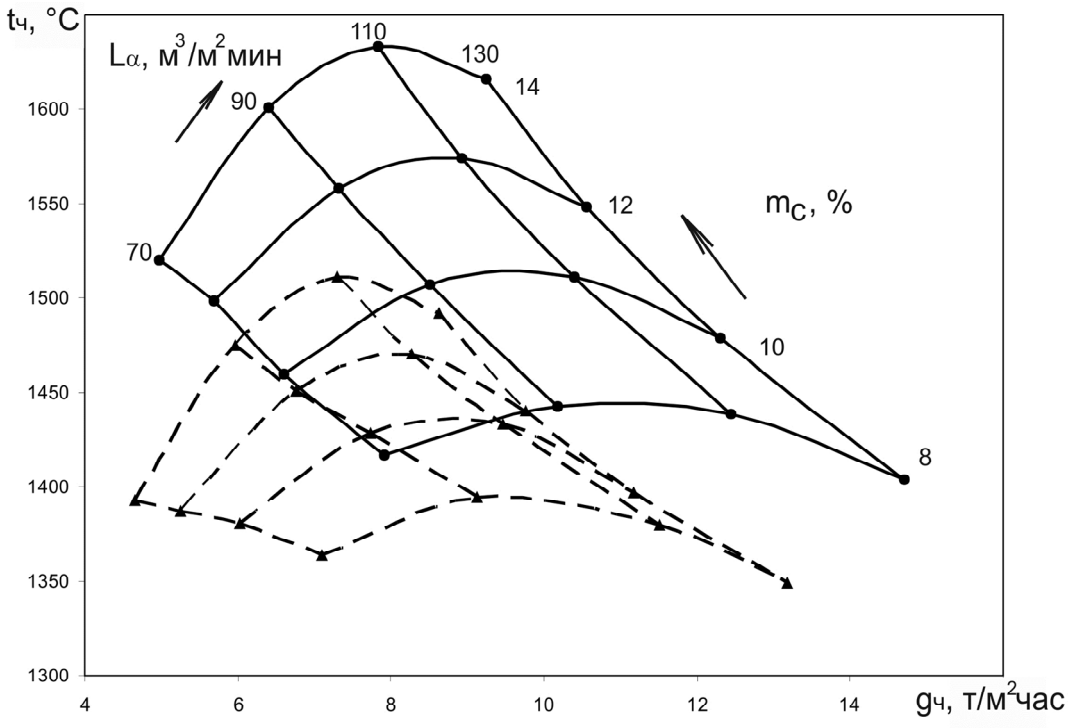


Рисунок 1 – Номограмма взаимосвязи между основными параметрами ваграночного процесса при использовании подогретого до 400 ºС дутья:

———— подогретое дутьё; — — — - обычное дутьё;

$t_ч$ – температура чугуна; $g_ч$ – производительность вагранки;

$L_α$ – удельный расход дутья; m_C – относительный расход углерода кокса.

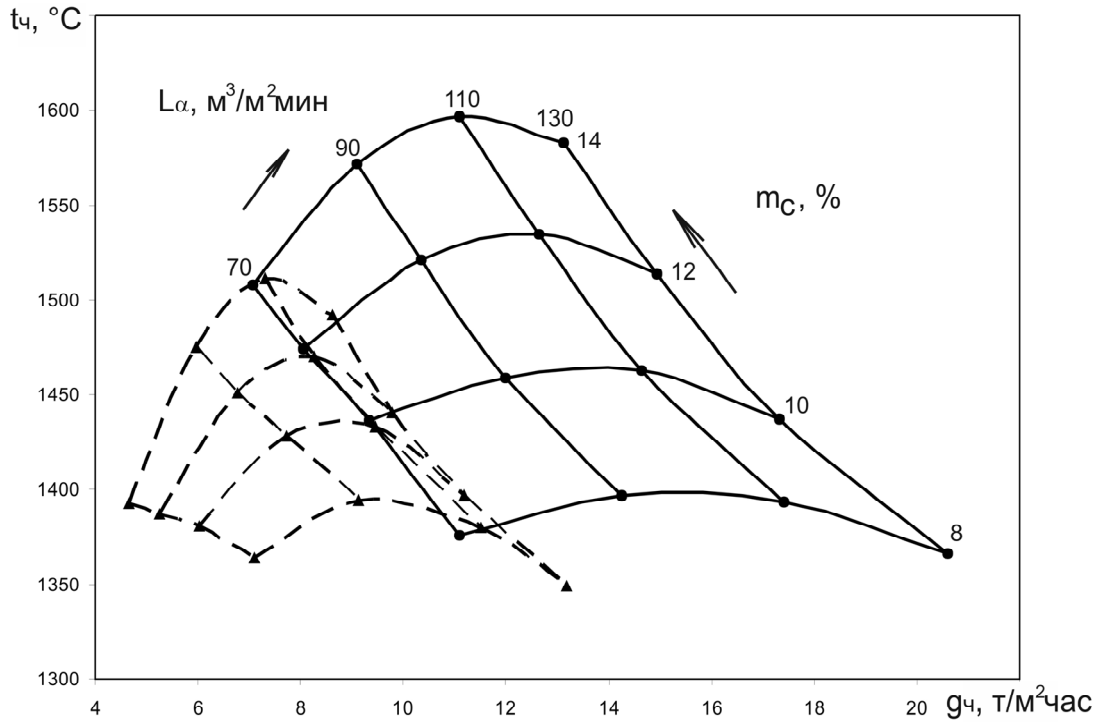


Рисунок 2 – Номограмма взаимосвязи между основными параметрами ваграночного процесса при использовании дутья, обогащенного кислородом (30 % O_2):

———— обогащенное дутьё; — — — обычное дутьё

Из полученных номограмм видно, что при использовании подогретого дутья наблюдается повышение температуры чугуна и незначительное увеличение производительности вагранки; при использовании обогащенного кислородом дутья, наоборот, имеет место незначительное повышение температуры чугуна и существенное увеличение производительности вагранки. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Список литературы

1. *Конончук С.В.* Дослідження реакції горіння вуглецю коксу у вагранці / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов // Збірник наукових праць КНТУ: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – В. 16. – С. 86 – 91.

УДК 536.521.3

А.Л. Корниенко, Л.Ф. Жуков

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,

бульв. акад. Вернадського, 34/1, 03680, Київ-142, Україна

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОЦВЕТОВОЙ СИММЕТРИЧНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИИ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В результате исследований влияния оптических характеристик многоцветовой термометрии на ее методические и инструментальные погрешности разработано во ФТИМС НАН Украины новое направление симметрично-волновой пирометрии излучения, включающее линейные и универсальные термометрические технологии. Показано, что в случае линейных распределений излучательной способности методические погрешности линейной симметрично-волновой пирометрии излучения приближаются к нулю и практически определяются дискретностью перебора значений температуры термометрируемых объектов. Для большинства реальных распределений излучательной способности, например для вольфрама, методические погрешности линейной симметрично-волновой термометрии в 9.1 – 25.0; 5.9 – 6.8 и 2.4 – 3.3 раза меньше погрешностей соответственно классической энергетической и спектрального отношения, а также полихроматической пирометрии излучения. Универсальный метод позволяет

полностью исключить доминирующую в оптической термометрии методическую составляющую погрешности измерений температуры объектов с любыми линейными и нелинейными распределениями излучательной способности. Оставшаяся инструментальная составляющая линейной и универсальной симметрично-волновой пирометрии излучения, не превышает погрешность измерений исходных одноцветовых температур излучения, т.е. 0.2 – 0.5%.

Под воздействием физико-химических процессов, в том числе окисления, восстановления и взаимодействия со шлаком, футеровкой и атмосферой излучательная способность ε поверхности термометрируемых объектов, в том числе металлических сплавов, случайно изменяется в широких пределах. Как известно, неопределенность и нестабильность ε является основными факторами, ограничивающими широкое использование оптических измерений температуры в производственных условиях. Ограничивающими факторами являются также неопределенность и нестабильность пропускания т промежуточными средами (сопутствующими и специальными, например световодными) электромагнитного теплового излучения. Обычно проблема пропускания эффективно решается использованием продуваемых фурм и спектральных диапазонов пирометрии излучения с априори известным и стабильным т. Поэтому проблема т является вторичной, менее актуальной в оптической. В подавляющем большинстве случаев оптических измерений температуры промышленных объектов в лучшем случае известны пределы изменений излучательной способности, а также тип ее спектральных распределений и, как правило, неизвестны количественные оценки ε. В таких условиях классические технологии оптической термометрии могут быть использованы, без введения поправок, в случае термодинамически равновесного излучения или «черного тела» для энергетической и «черного и серого» тел для двухцветовой пирометрии излучения. Отсюда следует, что с увеличением количества рабочих длин волн или спектральных диапазонов, т.е., с переходом от классической энергетической и спектрального отношения к многоцветовой пирометрии излучения метрологические характеристики оптической термометрии значительно повышаются за счет снижения методических погрешностей. Сегодня этому переходу способствуют бурное развитие и миниатюризация, а также повышение стабильности, чувствительности и быстродействия элементной базы многоцветовой термометрии, в том числе оптоэлектронной, волоконной, микропроцессорной и компьютерной техники. Совершенная элементная база позволяет значительно снизить и практически приблизить

к термоэлектрическим инструментальные погрешности оптической термометрии. Однако методические погрешности остаются недопустимо высокими, ограничивают использование и определяют задачи и направления развития современной оптической термометрии. Сегодня термометрическая научная и техническая общественность уже не дебатирует вопрос о достаточности переносимой излучением информации для оптических измерений температуры в производственных условиях с требуемой точностью. Сейчас более важной является разработка алгоритмов простой и достоверной обработки регистрируемой первичной пирометрической информации излучения, в том числе его одноцветовых температур, при оптимальном сочетании инструментальных и методических погрешностей их контроля. Именно такую задачу при разработке методов симметрично-волновой пирометрии излучения ставили перед собой авторы.

Задавая требуемые оптические характеристики многоцветовой термометрии, в том числе равномерно и симметрично распределенные по спектру значения длин рабочих волн, при определенных распределениях излучательной способности можно получать достоверные количественные ее оценки для средней части рабочего спектрального диапазона пирометрической системы. Такой подход позволяет определять излучательную способность на средних волнах через ее значения на соседних или граничных волнах. С увеличением количества рабочих волн усложняются алгоритмы обработки первичной пирометрической информации и, как правило, погрешности возрастают. Поэтому будем иллюстрировать новые методы многоцветовой симметрично-волновой пирометрии излучения (СВПИ) на примере трех волн и различных линейных и нелинейных распределений излучательной способности термометрируемых объектов.

УДК 669.715:537.84

А. В. Косинская, В. А. Середенко

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

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ БИНАРНЫХ Al–Zr СПЛАВОВ, ПРОИСХОДЯЩЕЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЕСЯ РАСПЛАВЫ

Образование крупнозернистой ориентированной структуры в слитках является причиной возникновения межкристаллитных трещин при литье и обработке, порождает анизотропию свойств в литом металле. Для получения равномерной мелкозернистой структуры в слитках и отливках в алюминий и его сплавы вводят микродобавки тугоплавких элементов. [1]. Элементом – модификатором алюминиевых сплавов считается цирконий. Его вводят в виде лигатур, что способствует измельчению структуры и повышению механических свойств алюминия. [2]. Однако, в промышленности цирконий не нашел широкого применения из-за необходимости ввода его в относительно больших концентрациях: наибольший эффект измельчения достигается при содержании 0,4–0,45% Zr. [3].

Значительную перспективу в современной металлургии и литейном производстве представляют физические способы модифицирования литой структуры сплавов. Использование технологий физического модифицирования имеет неоспоримое преимущество по сравнению с другими способами обработки расплавов. При этом не изменяется химический состав металла, не накапливается в нем при последующих переплавах количество примесей. Физическое воздействие на расплав может быть осуществлено в период его заливки в форму или при кристаллизации. Одним из способов физического модифицирования является электромагнитное воздействие. Управление процессом кристаллизации расплава при этом позволяет обеспечивать формирование структуры, определяющей уровень требуемых свойств литого металла или сплава. [4].

С целью установления влияния однородного постоянного магнитного поля индукцией 0,25Тл исследовали бинарные сплавы системы Al–Zr, в перитектической области составов диаграммы состояния. В качестве шихтовых материалов использовали алюминий технической чистоты и лигатуру, содержащую 3,35%мас. Zr. Плавки проводили в электропечи сопротивления в графитовых тиглях при температуре 820–860^{0}С. Металл разливали в графитовые формы. Температура форм во всех опытах составляла 18–22^{0}С. Одна из форм была

установлена в зазор постоянного магнита, а другая находилась в свободном пространстве лаборатории. Образцы остывали вместе с формами. Во всех экспериментах температурный и временной режимы, условия разливки и затвердевания сплавов выдерживали постоянными. Содержание циркония в сплавах определяли методами спектрального, микрорентгеноспектрального и рентгенофлуоресцентного анализов. В результате было установлено, что полученные сплавы содержали циркония: сплав №1 – 0,037 – 0,042% масс; №2 – 0,094 – 0,11%мас; №3 – 0,22 – 0,26%мас. Были проведены металлографические исследования с параллельным определением микротвердости отдельных фаз структуры.

Все сплавленные материалы вышеприведенных составов имеют микрокристаллическое зернистое строение. Размер зерен α-твердого раствора алюминия возрастает с повышением содержания циркония в сплаве. Но магнитное поле способствует измельчению структуры сплавов. Полученные данные приведены ниже.

Сплав	Содержание циркония, мас.%	Средний размер зерна α-фазы, мкм	
		При воздействии магнитного поля	Без воздействия магнитного поля
1	0,037-0,042	от 20х20 до 50х50	от 50х50 до 100х150
2	0,094-0,11	от 25х25 до 50х100	от 50х50 до 150х200
3	0,22-0,26	от 25х25 до 75х75	от 75х75 до 200х200

При этом наблюдается также некоторое повышение микротвердости α-фазы в образцах, кристаллизовавшихся в условиях действия магнитного поля: с 16,8 до 18,3 кг/мм^2 (сплав №1); с 12,7 до 15,3 кг/мм^2 (сплав №2) и с 12,2 до 14,4 кг/мм^2 (сплав №3).

Таким образом, магнитное поле способствует усилению модифицирующего действия вводимого в алюминий циркония, уменьшению среднего размера зерен α-твердого раствора алюминия в 2–3 раза. При этом измельчающий эффект достигается уже при содержании циркония 0,03–0,04 мас.%, что в 10 раз меньше известного [5], когда размер зерен α-фазы составлял 95 мкм при введении 0,3% Zr.

Список литературы

1. *Мальцев* М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. – М: Металлургия. - 1970. - С. 364.

2. *Белов В.Д., Дибров И.А.* Модифицирование доэвтектических алюминиевых сплавов циркониевыми лигатурами, закаленными из жидкого состояния. // Литейщик России. – 2011. - №1. – С. 41 – 44.
3. *Бондарев Б.И., Напалков В.И.,* Тарарышкин В.И. Модифицирование алюминиевых деформируемых сплавов. – М: Металлургия. - 1979. – С. 224.
4. *Селянин И.Ф., Деев В.Б.* Физические модифицирующие воздействия и характер кристаллизации литейных сплавов. // Литейщик России. – 2012. - №4. – С. 31-33.
5. *Елагин В.И.* Легирование деформируемых алюминиевых сплавов переходными металлами. – М: Металлургия. - 1975. – С. 248.

УДК 669.018.28:533.9

В. Н. Костяков, А. А. Волошин

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

ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИСТАВКИ К ИНДУКЦИОННЫМ ПЕЧАМ

Анализ работы индукционных печей показывает, что они неэффективны на режиме подогрева шихты до температуры плавления, их работа характеризуется низким значением термического КПД. Поэтому интенсификация процесса плавки позволяет существенно повысить эффективность работы печей.

Применение дополнительного плазменного нагрева в печи позволяет не только интенсифицировать плавку, но и вести плавку активным металлургическим процессом за счет высокой жидкоподвижности шлака.

Использование в качестве рабочего газа аргона практически устраняет угар легирующих элементов и повышает качество выплавляемого металла. Рафинирующая способность плазменной дуги дает возможность снизить в металле содержание газов на 30-40 % и уменьшить содержание неметаллических включений на 40-50 %. При этом неметаллические включения уменьшаются в размере, округляются и равномерно распределяются в матрице сплава. Это существенно повышает пластические характеристики и ударную вязкость литого металла.

В ФТИМС НАН Украины разработаны плазменные приставки к индукционным печам емкостью 0,16-10 т (таблица).

Следует отметить, что институт имеет большой опыт внедрения этого оборудования на машиностроительных предприятиях СНГ. Однако неэффективная

работа машиностроительного комплекса Украины не позволяет предприятиям внедрять разработанное оборудование.

Вместе с тем, предприятия Вьетнама проявили интерес к такого рода оборудованию. ФТИМС НАН Украины изготовил и поставил во Вьетнам плазменную приставку к индукционной печи 1,5 т и электротехническое оборудование к печам 0,2 и 0,3 т.

Таблица **Технические характеристики плазменных приставок к индукционным печам**

Параметры	Тип печи				
	ИСТ			ИЧТ	
Емкость тигля, т	0,16-0,25	0,4-0,5	1,0	6,0	10,0
Подводимая емкость к плазматрону, кВт	50	70	150	100	100
Род тока	Постоянный				
Параметры источника питания - рабочий ток, А - рабочее напряжение, В	1000 230	1000 230	1600 300	1250 230	1250 230
Рабочий газ	Аргон			Воздух	
Экономия электроэнергии на 1 т жидкого металла, кВт·ч	400	350	270	100	100

В настоящее время одним из предприятий введена в эксплуатацию плазменно-индукционная печь емкостью 1,5 т для выплавки легированных и углеродитых сталей и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Двухлетняя эксплуатация печи показала высокую эффективность комбинированного плазменно-индукционного нагрева.

УДК 621.745.5:66.046.5

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова, А. А. Волошин

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

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ

В последние годы проявляется большой интерес к жидкофазной восстановительной плавке, позволяющей получать сплавы из различных оксидосодержащих материалов, в том числе из первородного рудного сырья. Эффектив-

ность этого процесса плавки подтверждена данными многочисленных исследований. Несмотря на это, данные о влиянии технологических факторов на экономические показатели жидкофазной плавки в литературе отсутствуют.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины на основе экспериментальных данных выполнена оценка технико-экономической эффективности восстановительной плавки. Установлено, что на показатели процесса влияет технология плавки. Так, при плавке оксидных материалов на жидком “болоте” металла достигается более высокая степень восстановления метала и низкий удельный расход электроэнергии по сравнению с плавкой в жидком шлаке. При плавке на жидком “болоте” металла удельный расход электроэнергии в 3 раза ниже, а степень восстановления, например, хрома на 11-12 % выше.

Выявлено, что основными технологическими факторами, влияющими на экономические показатели плавки, являются технология ведения плавки, содержание оксидов металла в шихте и качество подготовки шихты. Эти факторы оказывают существенное влияние на энергоемкость процесса плавки, являющейся основным показателем эффективности плавки.

Анализ данных показывает, что легирование обычной стали малыми добавками хрома, никеля, молибдена, вольфрама практически не влияет на величину затрат энергии. При выплавке стали с высоким содержанием хрома использование оксида хрома существенно повышает энергоемкость процесса плавки. Так, например, энергоемкость плавки нержавеющей стали Х18Н10 из шихты, содержащей углеродистую сталь, оксиды хрома и никеля, по сравнению с обычной плавкой увеличивается на 23 %. Выплавка стали с содержанием хрома 30 % повышает энергоемкость процесса плавки на 45 %.

Следует отметить, что энергоемкость жидкофазной плавки будет всегда выше по сравнению с обычной. Однако большая разница в стоимости легирующих элементов в виде ферросплавов и оксидов металла полностью покрывает дополнительные затраты на энергоноситель при восстановительной плавке.

УДК 669.187.28:669.162.275

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЖАРОСТОЙКОСТЬ ЧУГУНА, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ ИЗ РАСПЛАВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА

В машиностроении находят широкое применение низколегированные хромистые чугуны, содержащие 0,4-3,0 % хрома (ГОСТ7769-82). Эти чугуны не требуют специального технологического оборудования для их выплавки. Они могут быть выплавлены, как и серый чугун, в существующих плавильных агрегатах: вагранках, дуговых и индукционных печах. Для получения необходимого содержания хрома в чугуне, как правило, используют феррохром или природнолегированный чугун и легированный лом.

На эксплуатационные свойства жаростойких чугунов большое влияние оказывает процесс окисления. Практически все металлы и сплавы при высоких температурах вступают во взаимодействие с окружающей средой. При этом характер взаимодействия может быть разнообразным. В результате могут образовываться оксиды, нитриды, сульфиды и др. В общем случае, при газовой коррозии, необходимо знать предел, до которого образованные путем реакции металла с газовой средой слои являются защитными.

Известно, что любой сплав состоит из нескольких элементов и все они принимают участие в образовании защитной пленки. Причем, некоторые из них в состоянии образовывать по несколько оксидов.

Исследование жаростойкости выплавленных чугунов, химический состав которых приведен в таблице, проводили на образцах цилиндрической формы диаметром 15 и длиной 20 мм со шлифованной поверхностью.

Таблица

Химический состав и жаростойкость выплавленных чугунов

№ плавки	Содержание элементов, массовая доля %						Изменение массы окалины при температуре испытания, г/м^{2}ч	
	C	Si	Mn	Cr	S	P	500 °C	600 °C
1	3,49	2,20	0,70	0,45	0,081	0,20	0,71	1,42
2	3,57	2,10	0,73	0,57	0,083	0,22	0,62	1,27
3	3,56	2,80	0,72	0,93	0,078	0,21	0,35	0,55
4	3,60	1,74	0,79	1,40	0,084	0,21	0,22	0,38

Анализ данных показал, что повышение температуры испытания с 500 до 600 °С приводит к снижению жаростойкости чугуна в 1,5-2 раза. Увеличение содержания хрома в чугуне от 0,45 до 1,40 % при одной и той же температуре нагрева образцов повышает жаростойкость чугуна в 3,2-3,7 раза, о чем свидетельствует уменьшение массы окалины.

Таким образом, результаты исследований показали, что легирование чугуна хромом из расплава сталеплавильного шлака обеспечивает достаточно высокую жаростойкость, показатели которой находятся на уровне чугуна, легированного феррохромом.

УДК 621.745.5:66.046.5

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЖИДКОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОКСИДНОГО СЫРЬЯ

В металлургии и машиностроении при производстве металлопродукции и смежных отраслях образуется достаточно большое количество отходов в виде металлургических шлаков и шламов, гальваношламов, окалины, отработанных катализаторов, золы ТЭС и других, содержащих легирующие элементы (хром, никель, ванадий, молибден и др.) в виде оксидных соединений.

Согласно данным различных источников, в Украине ежегодно образуется около 1 мрд т твердых техногенных отходов, 85-90 % которых поступает на хранение в шламонакопители, терриконы и т. п. В настоящее время накоплено около 25 млрд т промышленных техногенных отходов. Общее количество накопленных металлургических шлаков составляет 190 млн т [1-3]. Поэтому проблема утилизации таких отходов выдвигается на первый план, поскольку в Украине сырьевые ресурсы для производства ферросплавов на основе выше указанных элементов практически отсутствуют.

Современная концепция утилизации отходов на металлургических предприятиях предполагает многократное использование вторичных ресурсоценных материалов для собственных нужд или за его пределами при условии их переработки. По оценкам отечественных и зарубежных специалистов наиболее перспективным является жидкофазное восстановление металлов из их оксидов. В настоящее

время интенсивно ведутся работы в этом направлении и имеются достаточно убедительные данные, подтверждающие эффективность этого способа.

В таблице приведено химический состав некоторых сплавов, полученных способом жидкофазной восстановительной плавки. Выплавленные сплавы характеризуются достаточно высоким содержанием легирующих элементов, могут быть использованы в качестве шихтовой заготовки и лигатур при производстве металлопродукции.

Таблица

Вид шихты и содержание основных элементов в выплавленных сплавах

№ п/п	Вид шихты	Содержание основных элементов в сплавах, массовая доля %						
		C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Cu
1.	ЧЛ, зола ТЭС	1,60	1,60	0,70	2,44	1,22	21,90	-
2.	ЧЛ, отработанные ванадиевые катализаторы	2,93	3,61	0,33	-	-	3,0	-
3.	Отвальный электростале-плавильный шлак	7,08	0,69	1,91	43,0	-	-	-
4*.	Шлам ванн анодного травления Cr-Ni-сплавов	-	0,53	0,05	14,90	61,20	-	-
5.	Шлам ванн меднения-никелирования-хромирования	-	0,1	-	20,8	35,0	-	2,0
6**.	СЛ, гальваношлам	0,6	1,3	0,2	2,0	13,0	-	0,7
7.	СЛ, гальваношлам	1,5	1,6	0,5	5,0	4,7	-	0,8
8.	СЛ, отработанные никелевые катализаторы	3,88	2,55	0,35	-	11,1	-	-
9.	ЧЛ, отвальный электростале-плавильный шлак	4,90	0,21	1,10	15,40	1,30	-	-
10.	ЧЛ, шлам доменных и мартеновских печей, гальваношлам	3,81	0,50	0,38	1,42	2,01	-	-

*В сплаве содержится: 0,5 % Mo, 0,1 % Nb, 0,3 % W.

** В сплаве содержится: 1,42 % Mo, 0,82 % Nb, 0,8 % W.

Эффект от применения оксидосодержащих материалов очевиден. Использование лигатур и шихтовой заготовки при выплавке чугуна и стали обеспечивает снижение себестоимости 1 т жидкого металла в 2-2,5 раза.

Литература

1. Демидик В.Н. Проблемы металлургии в контексте устойчивого развития // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 1. – С. 53-57
2. Матвиенков С.А., Алешин А.А. Нормативно-правовая база в сфере ис-

пользования вторичных материалов // Металлург. и горноруд. промышленность. – 2003. – № 2. – С. 147-151.
3. Алешин А.А., Остроушко А.В., Пустовалов Ю.Н. Рациональность в отвалы // Металл. – 2008. – № 7. – С. 50-52.

УДК: 669.187.28:669.162.275

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова

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

ЛЕГИРОВАНИЕ ЧУГУНА ХРОМОМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА ШЛАКА

Исследования последних лет, выполненные в ФТИМС НАН Украины, показали перспективность и эффективность технологии жидкофазного восстановления металлов из оксидных материалов. Выполненные исследования позволили более полно раскрыть механизм жидкофазного восстановления металлов и создать технологические основы получения сплавов.

Одним из направлений жидкофазного восстановления металлов является прямое легирование сплавов из оксидных расплавов.

Установлено, что состав легирующих смесей должен быть таким, чтобы образующийся шлак соответствовал составу рафинирующего шлака при выплавке стали. При одновременном восстановлении металлов и десульфурирующей обработке стали образующимися шлаками чистота металла по неметаллическим включениям и его качество не хуже, чем в случае применения традиционных ферросплавов.

Научные предпосылки, положенные в основу технологии прямого легирования сплавов из оксидных материалов предусматривают, что наиболее низкая температура плавления в системе всегда соответствует компонентам с более низкой теплотой плавления. Так, например, в системах Fe_2O_3, SiO_2 и других оксидов металлов разной валентности эвтектический состав всегда ближе к оксидам трех- и четырехвалентных металлов, имеющих меньшую теплоту плавления на моль кислорода по сравнению с оксидами кальция.

Изменение температуры начала и скорость восстановления металлов, степень полезного использования восстановителя и полнота извлечения металлов зависит от температуры плавления смеси. В случае, например, гетерогенности системы с большим интервалом $t_{ликв.} – t_{сол.}$ по мере восстановления металлов

происходит изменение их валентного состояния, образование оксидов низшей валентности параллельно с взаимодействием с атмосферой и поверхностным окислением, т. е. происходит рост химического потенциала кислорода шлака (O^{2-}).

Выполненные исследования взаимодействия фаз при жидкофазном восстановлении металлов при легировании чугуна и стали Cr, Ni, V позволили установить закономерности процесса и получить исходные данные для разработки технологии выплавки легированных сплавов.

Изучено поведение хрома при прямом легировании чугунка из оксидного расплава електросталеплавильного шлака, содержащего, % 28,36 Cr_2O_3; 3,94 Al_2O_3; 2.7 Fe_2O_3 ; 10,24 CaO; 9,6 MgO; 8,76 MnO.

Технология плавки включала ввод неокомкованной смеси шлака - электродного боя – извести в ванну дуговой печи вместе с чугунным ломом. Расчетная величина добавок хрома (в оксидах) составляла 0,10; 0,25; 0,50; 1,0%.

Химический состав выплавленного чугуна четырех плавок был следующим, %: C 3,69-3,90; Si 0,52-0,79; Mn 0,81-0,96; Cr 0,09-0,90 (0,09; 0,22; 0,43; 0,90). Расчетное содержание хрома в чугуне, % 0,10-1,0 (0,10; 0,25; 0,50; 1,0). Эти данные подтверждают, что содержание хрома в чугуне всех плавок довольно близко к расчетному. А это значит, что при прямом легировании чугуна хромом из оксидного расплава достигается высокая стабильность химического состава чугуна по содержанию хрома.

В заключение следует отметить, что применение оксидных материалов для легирования чугуна экономически оправдано, а технология может быть реализована в условиях действующего производства.

УДК 621.745.5:66.046.5

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова

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

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ ИЗ ОКСИДНЫХ РАСПЛАВОВ

Одной из перспективных технологий, обеспечивающей уменьшение энерго- и материалоемкости и минимальное загрязнение окружающей среды, является технология прямого легирования стали из оксидных материалов (руды, концен-

траты, шламы, шлаки, окалина и другие отходы производства, содержащие легирующие металлы).

В основу технологии прямого легирования стали из оксидных материалов положены следующие принципы.

Температура плавления оксидов, зависящая от их ионности, характеризует энергию связи Me-O и активность оксидов по отношению к восстановителю. Температура начала и скорость восстановления металлов, степень полезного использования восстановителя и полнота извлечения металлов зависят от температуры плавления смеси оксидов. Если система гетерогенна с большим интервалом $t_{лик} – t_{сол}$, по мере восстановления металлов происходит изменение их валентности параллельно с взаимодействием с атмосферой и поверхностным окислением, т. е. происходит рост химического потенциала кислорода шлака (O^{2-}).

Низкая скорость реакции восстановления и взаимодействия с кислородом атмосферы снижает степень полезного использования восстановителя и степени извлечения металлов в гомогенном расплаве эвтектического типа с высокой начальной концентрацией O^{2-}.

Основываясь на научных предпосылках, в ФТИМС НАН Украины проведены исследования прямого легирования стали Ст.3 из оксидов металлов, содержащихся в гальваношламах.

Химический состав выплавленных сплавов показан в таблице.

Таблица

Химический состав сплавов

№ п/п	Сплав	Содержание элементов, мас. %										
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	W	Cu	S	P
1.	Ni13Cr2MoCu	0,6	1,3	0,2	2,0	13,0	0,5	0,1	0,3	0,7	-	-
2.	Ni8CuS2P2	2,16	0,87	0,20	-	7,84	-	-	-	0,3	1,99	1,56
3.	NiCu2Cr2SP	0,14	0,91	0,23	0,18	1,03	-	-	-	2,4	0,45	0,82

Выплавленные сплавы характеризуются наличием в их составе Cr, Ni, Cu, S, P. Повышенное содержание серы и фосфора объясняется тем, что их соединения являются составной частью электролитов и в результате протекания химических реакций выпадают в шлам.

Выполненные исследования позволили разработать технологию получения легированных чугуна и стали элементами, содержащимися в рудном сырье и образующихся отходах при производстве металлопродукции.

УДК 669.187.28:669.162.275

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, Н. В. Кирьякова

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

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИГАТУР И СПЛАВОВ ИЗ ОКСИДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из перспективных направлений получения лигатур и сплавов из оксидосодержащих материалов является жидкофазная восстановительная плавка. Преимущества этой плавки подтверждены результатами многочисленных исследований.

В ФТИМС НАН Украины изучены особенности поведения фаз при жидкофазной плавке железорудного сырья, отработанных катализаторов, гальваношламов, металлургических шлаков и шламов, отходов ферросплавного производства и др., содержащих легирующие элементы в виде оксидов металла. Это позволило установить закономерности поведения углерода, железа, хрома, никеля, ванадия, серы и фосфора в процессе плавке.

Показано, что за счет высокой скорости протекания физико-химических процессов достигается высокий выход металлической основы из отходов до 32 % и степень восстановления легирующих элементов хрома, никеля и ванадия до 80-100 %.

Содержание серы в сплаве жидкофазной плавки снижается за счет перехода в шлак и газовую атмосферу. Полученные данные позволили разработать технологию получения лигатур из электросталеплавильного шлака и ванадиевого концентрата с содержанием хрома до 40 % и ванадия до 23 %.

Созданы технологические процессы получения шихтовой заготовки с различным содержанием легирующих элементов из отходов, образующихся в процессе производства металлопродукции в металлургии и машиностроении.

Эффективность разработанных технологий позволяет исключить применение дорогостоящих ферросплавов при производстве литья из легированных чугуна и стали.

УДК:669.18.003:669.168

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская

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

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА ЗОЛЫ ТЭС И ВАНАДИЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

На ОАО «Днепродзержинском сталелитейном заводе» проведена опытно-промышленная проверка технологии прямого легирования углеродистой стали ванадием из расплава золы ТЭС и ванадиевого концентрата. Опытные плавки проведены в кислой дуговой печи ДСП-3.

Плавки проведены без изменения существующей технологи выплавки стали. В первой серии плавок использовали легирующую смесь, состоящую из золы ТЭС, ферросилиция и известняка, в количестве, необходимом для получения стали с содержанием ванадия 0,1 %.

Исследованиями установлено, что в окислительном периоде плавки содержание ванадия в жидком металле снижается от 0,064 % до 0,031 % и в посдедующем периоде плавки практически не изменяется.

Во второй серии плавок легирование стали ванадием производилось из расплава ванадиевого коцентрата. Анализ состава металла по ходу плавок показал, что в окислительном периоде концентрация ванадия в жидком металле уменьшается от 0,092 % до 0,063 %. Раскисление шлака в конце окислительного периода ферросилицием обеспечивает содержание ванадия в стали до 0,072 %.

Таким образом, опробованные технологии прямого легирования углеродистой стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата и золы ТЭС обеспечивают высокую степень усвоения ванадия и делают процесс легирования достаточно эффективным. За счет большой разницы в стоимости феррованадия и оксидних материалов достигается значительный экономический эффект, обеспечивающий снижение себестоимости выпускаемой металлопродукции.

УДК 669.046:66.046.5:546.18

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская

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

ПРЯМОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ВАНАДИЕМ ИЗ РАСПЛАВА ЗОЛЫ ТЭС

Выплавка низколегированных и легированных сталей с использоваеием оксидных материалов основана на методе прямого легирования, который заключается в восстановлении оксидов легирующих элементов из шлаковой фазы в процессе плавки или в период разливки стали в ковш и внепечной обработке. При этом степень усвоения легирующего элемента определяется достигаемым коэффициентом распределения элемента между металлом и шлаком, а также кратностью шлака. Следует также отметить, что на степень усвоения легирующего элемента сталью, т. е. на коэффициент его распределения, существенное влияние оказывает окисленность шлака. Чем ниже активность железа в шлаке, тем коэффициент распределения для низколегированных сталей будет меньше.

Восстановление таких элементов, как W, Mo и Ni, имеющих сродство к кислороду ниже, чем железо, не вызывает затруднений и прямое легирование стали оксидными материалами на основе указанных элементов возможно в широком интервале активностей железа в печном шлаке.

В отличие от выше указанных элементов, показатели распределения V, Cr и Mn невелики при пониженной активности железа в шлаке, а степени усвоения ставлью при ограниченном количестве шлака в печи или ковше сравнительно высоки. Поэтому для обеспечения высокой степени усвоения легирующего элемента показатель его распределения и активность железа в шлаке необходимо снижать при увеличении количества шлака.

Таким образом, исследование физико-химических особенностей процессов восстановления и разработка технологии прямого легирования являются наиболее актуальными в первую очередь для ванадия, как одного из дорогих легирующих элементов.

В ФТИМС НАН Украины выполнены исследования особенностей легирования углеродистой стали ванадием из расплава золы ТЭС.

Шихтой служила углеродистая стальследующего состава, массовая доля, %: 0,28 C; 0,32 Si; 0,35 Mn; 0,16 Ni; 0,23 Cr и зола ТЭС, содержащая, массовая до-

ля, %: 6,0 SiO_2; 1,15 P_2O_5; 1,0 CaO; 0,15 TiO_2; 2,91 Cr_2O_3; 30,18 V_2O_5; 0,013 MnO; 25,33 Fe_2O_3.

Характерным для золы ТЭС является повышенное содержание оксида ванадия по сравнению с ванадиевым концентратом, составляющее 30,18 %.

Исследование поведения ванадия проведено при выплавке углеродистой стали в дуговой печи постоянного тока с основной и кислой футеровкой. Химический состав выплавленной стали приведен в таблице.

Таблица

Химический состав выплавленной стали

Расчетное содержание ванадия в стали, %	Содержание элементов, массовая доля %				
	C	Si	Mn	V	Cr
0,40	0,25*	0,31	0,29	0,32	0,15
	0,26**	0,29	0,26	0,24	0,12
0,04	0,26	0,30	0,25	0,03	0,15
	0,26	0,28	0,28	0,02	0,13

Примечание: * кислая футеровка; ** основная футеровка.

Обращает на себя внимание более высокое содержание ванадия в стали, выплавленной в печи с кислой футеровкой. Это объясняется тем, что в кислой печи имеет место малая активность оксидов железа в кислом шлаке. Это обуславливает более полное восстановление оксидов ванадия, следствием чего является более высокое содержание ванадия в стали.

В заключение следует отметить, что прямое легирование стали ванадием из расплава ванадийсодержащих материалов позволяет исключить применение дорогого феррованадия. Это обеспечивает снижение себестоимости выплавленной стали.

УДК 669.18.003:669.168

В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

Одним из перспективних способов получения металлов и сплавов является жидкофазное восстановление оксидов металлов в процессе плавки. Это предусматривает восстановление металлов из оксидосодержащих материалов в твердожидкой фазе кипящего шлака в зоне интенсивного теплообмена.

Исходя из принципа, что при растворении восстановленного элемента в металлическом расплаве наступает изменение энергии Гиббса системы и более полное восстановление оксида за счет уменьшения активности восстановленного элемента при переходе его в раствор, уменьшение общей энергии при образовании раствора понижает температуру восстановления ведущего элемента и расход электроэнергии на восстановление. В металлическом растворе за счет уменьшения активности компонентов снижается степень взаимодействия элементов с монооксидом углерода, что сокращает вторичное карбидообразование и увеличивает извлечение ведучих компонентов, улучшая условия протекания металлургических процессов в печи за счет уменьшения количества шлака, его вязкости и потерь метала со шлаком.

Изучение физико-химических процессов, процессов тепло- и массопереноса при жидкофазном восстановлении металлов позволило разработать технологические основы восстановительной плавки и новые технологии получения легирующих элементов Cr, Ni, V, Mo и других из отходов металлургии и смежных отраслей.

УДК 681.3/621.74

В. П. Кравченко[1], Е. В. Кравченко[2]

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

[2]МНУЦИТС МОН и НАН Украины, Киев

ДИСТАНЦИОННЫЙ ЭКОМОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современная промышленность характеризуется разветвленной инфраструктурой и требует эффективного управления и организации оперативного контроля выполнения технологических процессов . Контроль качества продукции в промышленности и минимизация энергозатрат достигается за счет поддержания в заданных пределах технологических, теплофизических и других параметров производственных процессов. Важной задачей современного производства является использование экологически чистых технологических процессов . Поэтому экологические аспекты производства, защита от вредных выбросов в атмосферу, которые жестко регламентируются международными соглашениями, основываются на экомониторинге территорий производств и санитарно - защитных зон.

Эффективное решение этих проблем достигается за счет развертывания и функционирования локально - региональной сети контроля производственных объектов и объектов экомониторинга. В качестве объектов длительного мониторинга могут быть различные технологические процессы, оборудование, линии, участки цехов и другое. Так, в цехах в литейном производстве основным производственным оборудованием являются плавильные агрегаты и автоматические формовочные линии. Для реализации эффективного управления в литейном производстве важно организовать контроль количества залитых форм или отливок, контроль количества циклов операций, которые выполняют формовочные машины. В качестве первичных датчиков в литейном производстве широкое распространение получили инфракрасные датчики, с помощью которых фиксируется заливка формы, датчики, которые позволяют определить время простоев участков или механизмов формовочных линий, а также, инфракрасные датчики контроля температур. Для учета отливок наиболее эффективно использовать видео датчики. Контролю также подлежат параметры газодинамических потоков, необходимых для охлаждения отливок, теплофизические параметры отливок, показатели загазованности воздуха в цехе и другие параметры.

Необходимо отметить, что первоначальной задачей экомониторинга территорий вредных производств и их санитарно - защитных зон является оперативная доставка на центральный сервер первичных данных о состоянии загрязнения атмосферы, гидросферы и почвы. Контролю подлежат уровень концентрации радионуклидов, вредных токсичных веществ в воде, атмосфере, почве, уровень акустического шума или электромагнитного излучения, текущее состояние несущих конструкций инженерных сооружений. Для получения информации о состоянии промышленных объектов длительного мониторинга в определенных местах промышленного объекта устанавливаются первичные преобразователи информации (датчики, сенсоры), выходные сигналы которых являются первичным информационным отражением динамики состояний объектов длительного мониторинга. Информация от датчиков по проводным, кабельным линиям направляется в радиотерминалы микросотовой радиосети.

Мощность современного производства определяется количеством и квалификацией трудовых ресурсов, которые используются, наличием природных ресурсов, материально - технической базы производства и уровнем развития используемых технологий. Автоматизация производства привела к тому, что функционирование современных автоматизированных комплексов, станков и машин существенно влияют на конечные результаты производства. При этом влияние человеческого фактора на качество производства существенно увеличивается, что требует организации обеспечения контроля качества на различных уровнях производства. Поскольку оперативный экомониторинг объектов окружающей среды и контроль источников загрязнения окружающей среды требует решения комплекса проблем, то важно описать методологические, организационные, технологические составляющие оперативных процессов сбора, обработки, передачи экологической информации о состоянии окружающей среды и информирование о текущем экологическом состоянии производственных помещений и рекреационных территорий. Надо отметить, что на сегодняшний день в Украине система мониторинга за состоянием окружающей среды характеризуется низким уровнем автоматизации процессов сбора и обработки первичных данных, особенно на локальном и региональном уровнях мониторинга.

Поэтому, актуальным является обоснование и разработка методологических основ реализации оперативного экомониторинга окружающей среды в рабочих местах на производстве.

УДК 681.3/621.74

В. П. Кравченко[1], Е. В. Кравченко[2]

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

[2]МНУЦИТС МОН и НАН Украины, Киев

МЕТОДЫ ИНДУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ОТЛИВКОЙ И ФОРМОЙ

Исследование процессов тепло-массообмена при охлаждении и кристаллизации отливки в песчаной форме послужило основой для создания математических моделей для них и способов управления различными по природе и динамике процессами, происходящими как в самой отливке, так и в песчаной форме. Особый интерес представляет собой исследование температурного поля на поверхности формы. Динамика изменения такого поля, фиксирования областей и линий максимума и минимума температуры позволяют выбрать наиболее адекватные теоретические модели для прогноза процесса литья и управления определенными параметрами, чтобы достичь тех или иных свойств в отливке. Обращаясь к задачам моделирования тех или иных физических процессов, отметим, что индуктивное моделирование в настоящее время ассоциируется с исследованием, описанием и реализацией причинно – следственных процессов изучения, распознавания образов и прогнозирования процессов и явлений, и обработки знаний на базе использования предыстории и закономерностей соответствующей проблемной области, в нашем случае в области теплообмена процессов кинетики охлаждения. Индуктивный подход к моделированию и прогнозированию, в частности, к рассматриваемой задачи, основан на построении модели перехода от частных данных к их обобщению, в виде соответствующих моделей. Воплощением индуктивного подхода является метод группового учета аргументов (МГУА) – оригинальный метод построения моделей по экспериментальным данным в условиях неопределенности, автором, которого является академик А.Г. Ивахненко [1]. Полученные по этому методу модели оптимальной сложности воспроизводят неизвестную закономерность функционирования исследуемого объекта (процесса), информация о которых неявно содержится в выборке экспериментальных данных. Отметим также, что индуктивное моделирование в настоящее время ассоциируется с исследованием, описанием и реализацией причинно-следственных процессов обучения, распознавания образов и прогнозирования процессов (явлений), извлечения и обработки знаний на базе использования предыстории, закономерностей соответствующей проблемной области. В

рассматриваемом случае при исследовании закономерностей теплообмена, и возможности применения принципов искусственного интеллекта.

Истоки идеи индуктивного моделирования лежат в проблеме синтеза оптимального нелинейного предсказывающего фильтра, которую впервые сформулировал академик А. Н. Колмогоров. В дальнейшем в работе [2] был предложен универсальный предсказывающий фильтр с самонастройкой в процессе обучения, который реализует алгоритм предсказания будущего значения стационарной функции времени, в нашем исследовании функции температурного поля, по ее предыстории путем нахождения оптимальных коэффициентов расширенного оператора предсказания. Кроме того, многие задачи идентификации, прогнозирования, распознавания образов, оптимального управления тесно связаны с проблемой предсказания на основе единого индуктивного принципа моделирования – изучения причин и следствий, от частного к общему, с целью создания и накопления необходимых баз знаний. Рассматриваемые задачи могут быть решены на основе индуктивного моделирования, т.е. на уровне обучения детерминированной или вероятностной физической модели, либо на уровне адаптации исследуемых связей в изучаемом тепловом процессе.

Список литературы

1. Ivakhnenko A.G. Inductive methods of the difficult systems self-organization. – Kyiv: Nauk.dumka, (In Russian), 1982.–296p.

2. Gabor D., Wilby W.R., Woodcock R.A. A universal nonlinear filter, predictor and simulator which optimizes itself by a learning process. Proc. Inst. Electr. Engrs., vol. 108., part B, №40, 1961. Pp .85-98.

УДК 621.74

Н.И. Лаврова, Д.А. Дёмин

Национальный технически университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ ФОРМОВОЧНОГО УЧАСТКА ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ

Оборудование литейных цехов современных украинских промышленных предприятий в значительной степени исчерпало свой ресурс, так как может ха-

рактеризоваться сегодня состоянием морального и физического износа. Вследствие этого, технологические процессы, выполняемые на этом оборудовании, не обеспечивают высоких требований к качеству литья. Получаемые отливки зачастую по своему товарному виду не обеспечивают требования заказчиков, а несоответствие фасонных отливок по геометрическим характеристикам и размерным показателям может, к тому же, способствовать снижение надежности металлообрабатывающего оборудования. Поэтому исследования, посвященные решению вопросов планирования и организации мероприятий по техническому перевооружению, обеспечивающих возможность снижения директивных сроков и рационального распределения ресурсов в процессе технического перевооружения являются актуальными.

Вопросам оптимизации технологических решений в условиях работы современных литейных цехов посвящена работа [1], в которой предложены системные подходы к формированию требований и эффективности решений, ориентированных на максимально достигаемый экономический эффект. Затронутые в данной работе технологические аспекты должны рассматриваться как часть мероприятий в контексте общего технического перевооружения машиностроительного предприятия [2]. При этом проведение модернизации участков литейного цеха может рассматриваться как альтернатива планированию и проведению комплекса ремонтных работ [3]. На этапе принятия решения о том, какая из альтернатив в конкретных условиях данного производства является предпочтительнее, должны быть чётко сформулированы критерии эффективности, на основании которых собственно эти решения и должны приниматься [4]. Если говорить о литейном производстве, то при выборе альтернатив следует принимать во внимание то, что в литейном цехе могут существовать «узкие места» - те участки выполнения технологических процессов, которые обеспечивают наибольшую вероятность получения брака готовых отливок. Именно для этих участков и необходимо в первую очередь рассматривать альтернативы по дальнейшим действиям – либо совершенствовать систему ремонта, либо модернизировать производство и комплектовать эти участки современным оборудованием [5]. Как показывает анализ состояния литейных цехов, одним из «узких мест» являются участки формовки, а основная проблема на этих участках – износ формовочного оборудования. Таким образом, задача исследования может состоять в разработке мероприятий по реконструкции формовочного обо-

рудования, рассматривая её частью технического перевооружения формовочного участка литейного цеха.

Проведенное исследование посвящено вопросам технического перевооружения литейного цеха на основе внедрения современных технологических процессов. Результаты данного исследования, описанные в статье, могут быть использованы при планировании и проведении мероприятий по модернизации участка формовки. Это позволит минимизировать директивный срок проведения технического перевооружения и решить задачу рационального распределения ресурсов на его выполнение.

В результате проведенного исследования построен сетевой график выполнения комплекса работ по техническому перевооружению формовочного участка литейного цеха. Суть этого перевооружения – замена морально устаревших встряхивающе-прессовых машин современными машинами импульсной формовки. Установлено, что наиболее ответственными операциями при проведении подготовительных работ являются реконструкция системы приводов машин, разработка технологических схем монтажа, особостроительные работы по подготовке и монтажу приводов, монтаж сборных элементов оборудования, подготовка к монтажу основного технологического оборудования. Наиболее ответственными операциями при выполнении монтажа являются операции монтажа рамы цилиндров и прессового механизма.

Применение описанных решений может быть использовано в процессе проведения технического перевооружения формовочных участков литейных цехов.

Список литературы:

1. *Пономаренко, О. И.* Оптимизация технологических решений в условиях работы литейных цехов / *О. И. Пономаренко*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.

2. *Макаров, Ф. В*. Пути совершенствования планирования новой техники / *Ф. В. Макаров*. – В кн.: Вопросы совершенствования управления общественным производством. – Саратов. – 1981. – 180 с.

3. *Драченко, В. А*. Экономика ремонта карьерного оборудования / *В. А. Драченко, Н. Г. Колобердян*. – К.: Техника. – 1974. – 96с.

4. *Демина, Е. Б*. Формирование критерия целесообразности технического перевооружения промышленного производства / *Е. Б. Дёмина* // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Технический прогресс и эффективность производства. — 1999. — Выпуск № 95.

5. Производственно-технологическая комплектация литейных цехов [Текст] : справочное пособие / *Д.А. Дёмин, Е. Б. Дёмина, О.В. Акимов* и др.; под общ. ред. *Д. А. Дёмина*. – 1-6 изд. – Х.: Технологический Центр, 2012. – 320 с., ил.

УДК 669.187.2: 621.745.32

С. В. Ладохин, Т. В. Лапшук

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

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СОЗДАНИЕ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАВКИ И ЛИТЬЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Несмотря на то, что в настоящее время электронно-лучевые литейные технологии применяются весьма ограниченно, анализ перспектив их развития выглядит достаточно оптимистичным. В частности, возможными направлениями развития электронно-лучевых литейных технологий представляются такие: 1. Получение литых изделий из разных металлов и сплавов, в первую очередь из титана и сплавов на его основе. 2. Получение трубных заготовок из циркониевых и титановых сплавов, в том числе для изготовления тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. 3. Рафинирование отходов жаропрочных никелевых сплавов и получение из них мерных шихтовых заготовок для литья лопаток ГТД, в перспективе – получение лопаток ГТД. 4. Выплавка сложнолегированных сплавов на основе титана, циркония и никеля. 5. Получение кремния солнечной градации путем рафинирования металлургического кремния для изготовления фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии.

Из этих направлений первые три в принципе в достаточной мере уже отработаны, в то время как два последних требуют проведения весьма обширных и, к сожалению, достаточно трудоемких и дорогостоящих исследований.

Перспективными объектами разрабатываемого оборудования для реализации предлагаемых технологий являются следующие: 1. Собственно установки для получения слитков, литых заготовок и фасонных отливок. Установки должны обеспечивать реализацию процесса рафинирования однократным электронно-лучевым переплавом. 2. Оснастка установок: кристаллизаторы, тигли и промежуточные емкости. Наложение электромагнитных полей на расплав должно обеспечиваться как при формировании слитка в кристаллизаторе, так и

при плавке сплава в тигле. 3. Пушки, которые могут устойчиво работать в условиях плавки не только отходов производства, но и губчатых материалов, в том числе при наложении электромагнитных воздействий на расплав в кристаллизаторе или тигле. Наиболее перспективными для указанных целей в настоящее время представляются пушки высоковольтного тлеющего разряда (ВТР). Эти пушки, в создание которых наиболее заметный вклад внесли российские и украинские специалисты [1, 2] и которые широко используются при электронно-лучевой плавке с формированием слитков при плавке в среднем вакууме, в последнее время начинают применяться также при гарнисажной плавке [3].

Список литературы

1. Чернов В.А. Мощные электронно-лучевые пушки высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) и оборудование на их основе // Труды 9-го Международного симпозиума «Электротехника 2030». Москва, 29-31 мая 2007, доклад 7.10.

2. Мельник І.В. Теоретичні та експериментальні основи проектування технологічних газорозрядних джерел електронів: Автореф. дис. … д-ра. техн. наук / НТУУ «КПІ» – Київ, 2008. – 39 с.

3. Выплавка сплавов КТЦ110 в электронно-лучевой гарнисажной установке с использованием пушки высоковольтного тлеющего разряда / С. Д. Лавриненко, С. В. Ладохин, Н. Н. Пилипенко и др.// Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). – 2014. – № 1 (89). – С. 151-158.

УДК 621.74: 669.714

В.В. Ласковець, А.А. Щерецький, В.П. Гаврилюк, К.Ю. Гзовський

Фізико-технологічний інститут металіів і сплавів НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ТИТАНУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ СПЛАВУ AL-6,2CU

В переважній більшості літературних джерел [1], вплив титану на структуру алюмінієвих сплавах пов’язують, насамперед, з його здатністю утворювати зародкові фази, такі як TiC, TiB_2, Al_3Ti. Однак, застосування лігатур, які містять вказані фази, для модифікування сплавів системи Al-Cu не призводить до ефективного подрібнення зерна. В роботі [2] показано існування оптимальних концентрацій титану в сплавах системи Al-Cu, використання яких, призводить до

утворення дрібнозернистих структур і, як наслідок, підвищення фізико-механічних і технологічних характеристик. Для встановлення особливостей впливу титану на структуру сплавів системи Al-Cu виплавляли серію сплавів AlCu 6,2 мас. %. з вмістом титану від 0,2 мас. % до 0,4 мас. % із шагом 0,05 мас. %. Для досліджень використовували спектроскопічний, кількісний металографічний та диференційно-термічний аналізи. Диференційно-термічний аналіз проводили на термоаналізаторі СТА 449F фірми NETZSCH.

Проведені дослідження показали істотний вплив концентрації титану на характеристики сплаву AlCu 6,2 %. Залежність розміру зерна α-фази від вмісту титану має екстремальний характер. Утворюється два типи структур: грубозерниста з неоднорідною α-фазою і дрібнозерниста з однорідною α-фазою. Крім структурних параметрів залежно від вмісту титану закономірно змінюються також теплофізичні характеристики сплаву (температури, теплоти плавлення і кристалізації фаз) та його схильність до переохолодження при кристалізації (ΔТ). Встановлено, що сплавам з меншим розміром зерна в литому зразку відповідають сплави з більшим значенням ΔТ при кристалізації α - фази. Величина ΔТ сплавів з однорідною дрібною дендритною структурою не тільки більша порівняно із сплавами з грубою структурою, але і менш чутлива до температури перегріву розплаву. Сплави, що характеризуються високим значенням ΔТ при кристалізації α – фази, мають дрібну структуру, високу ступінь пересичення твердого розчину, максимальні фізико-механічні і технологічні характеристики.

Отримані експериментальні дані не можливо пояснити виходячи лише із класичної теорії кристалізації, або із теорії утворення кристалоподібних кластерів [3], однак вони добре узгоджуються із теорією Баумана [4]. Виходячи із [4] утворення дрібнозеренної структури, зниження схильності до утворення гарячих тріщин та підвищення механічних властивостей, в сплавах системи Al-Cu при мікролегуванні титаном, пов’язано не лише з утворенням частинок зародкових фаз, або із утворенням кристалоподібних кластерів, а з утворенням не кристалоподібних кластерів та, як наслідок, підвищення переохолодження. Формування грубозеренної структури, підвищення схильності до утворення гарячих тріщин та зниження механічних властивостей в сплавах системи Al-Cu при мікролегуванні титаном пов’язано із утворенням кристалоподібних кластерів та зниження переохолодження.

Таким чином, одним з важливих чинників формування дрібнозернистої структури і підвищення фізико-механічних та технологічних характеристик сплавів

системи Al-Cu при мікролегуванні титаном - утворення метастабільного стану, а саме підвищення ΔТ при кристалізації α-фази, а не лише наявність зародкових фаз типу TiC, TiB_2, Al_3Ti.

Перелік посилань

1. Sigworth, G.; DeHart, F.; Millhollen, S.: Use of high strength aluminum casting alloys in automotive applications; Konferenz-Einzelbericht: Light Metals 2001, pp.313-322.

2. Ласковец В.В., Гаврилюк В.П., Гзовский К.Ю. Влияние титана на структуру, склонность к образованию горячих трещин и механические свойства сплава AlCu6,8Mn0,65// Металлургия Машиностроения. – №1. – 2013. – с. 23 – 25.

3. Базин Ю.А., Баум Б.А. // Цветные металлы. – 1994. – №7. – С. 55 – 58.

4.Tammann, G. Lehrbuch der Metallkunde, - Düsseldorf; Verl. Stahleisen. 1934. s. 243

УДК. 621.74.046:620.178.16

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

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

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Результаты исследования процесса формирования структуры биметаллических отливок показали, что в литом состоянии стальная основа биметаллических отливок состоит из феррита и перлита, а рабочий слой – из карбидов, аустенита и перлита. Переходная зона между основой и рабочим слоем со стороны чугуна состоит из перлита, а со стороны стали - феррита. После термической обработки изменяется дисперсность и соотношение структурных составляющих, а в рабочем слое вместо перлита формируется мартенсит.

В литом состоянии содержание структурных составляющих и дисперсность феррито-перлитной структуры металла-основы с коэффициентом корреляции от 0,825 до 0,867 определяется углеродным эквивалентом стали и скоростями охлаждения в жидком состоянии, интервале затвердевания в температурной области от 600 до 800 ^{o}C, предшествующей диффузионному распаду аустени-

та; размер ферритного и перлитного слоя в переходной зоне с коэффициентом корреляции от 0,741 до 0,935 – вышеперечисленными параметрами, а также углеродным эквивалентом чугуна; количество карбидов с коэффициентом корреляции 0,984 – углеродным эквивалентом чугуна; размер карбидов с коэффициентом корреляции 0,999 – углеродным эквивалентом чугуна, а также скоростью охлаждения рабочего слоя в жидком состоянии и в интервале затвердевания; количество и размер зерен перлита в рабочем слое, а также расстояние между пластинами цементита в перлите с коэффициентом корреляции от 0,977 до 0,978 – скоростью охлаждения рабочего слоя в интервале температур от 600 до 800 ^{o}C, углеродным эквивалентом чугуна и температурным интервалом диффузионного распада аустенита рабочего слоя; объемная доля остаточного аустенита в рабочем слое с коэффициентом корреляции 0,823 – углеродным эквивалентом чугуна и скоростью охлаждения рабочего слоя в жидком состоянии и в интервале затвердевания.

После термической обработки структура биметаллических отливок определяется соотношением соответствующих структурных характеристик в литом состоянии и углеродных эквивалентов стали и чугуна.

Анализ установленных закономерностей показывает, что увеличение скорости охлаждения биметаллической отливки в жидком состоянии, интервале затвердевания и температурной области от 800 до 600 ^{o}C вызывает диспергирование структуры основы и рабочего слоя, а также расширение переходной зоны.

Легирования стали марганцем и хромом приводит к диспергированию зерен феррита и перлита в основе биметаллических отливок и расширению переходной зоны. Увеличение содержания марганца в чугуне приводит к диспергирования исследованных структурных составляющих рабочего слоя, а дополнительное легирование хромом - к увеличению размеров карбидов и зерен перлита.

После термической обработки биметаллических отливок микроструктура стальной основы состоит из перлита и феррита , а рабочего слоя - из смеси карбидов Me_7C_3, высокохромистого аустенита и мартенсита .

Результаты моделирования показывают, что в процессе термической обработки усиливается в 2 - 3 раза влияние факторов, которые приводят к диспергированию структуры биметаллических отливок в литом состоянии. Необходимо отметить, что если увеличение содержания хрома в чугунном рабочем слое в литом состоянии монотонно изменяет размеры и фазовый состав его микроструктуры, то после термической обработки такое влияние экстремальный. При

этом максимальная дисперсность мартенсита достигается при содержании хрома в пределах от 16 до 17%.

УДК 621.74

І. В. Лук'яненко, В. О. Косячков

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

ФАКТОРИ ЧАСУ В ПРОЦЕСІ СФЕРОЇДИЗУВАЛЬНОГО ТА ГРАФІТИЗУВАЛЬНОГО МОДИФІКУВАННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЧАВУНУ

Структура та механічні властивості чавуну в литому стані визначаються хімічним складом, модифікуванням, швидкістю охолодження сплаву та інтервалом часу між додаванням модифікатора в розплав та початком його кристалізації. Останньому фактору в більшості досліджень приділяють не достатньо уваги, хоча він істотно впливає на структуру чавуну в литому стані.

В дослідженні впливу цього фактору використали три способи модифікування: автоклавний, ковшовий та внутрішньоформовий. При модифікуванні в автоклаві на знаття тиску, виймання ковша, скачування шлаку, транспортування та розливання металу витрачається 8…12 хв., при модифікуванні у відкритому ковші на маніпуляції з металом витрачається 4…6 хв. При модифікуванні у ливарній формі інтервал часу між додаванням модифікатору в розплав та початком його кристалізації складає декілька секунд. Всі три методи модифікування при однаковому хімічному складі забезпечували високу (96…98%) ступінь сфероїдизації графіту в литому стані.

Мікроструктуру чавунів визначали на темплетах, виготовлених з середньої частини циліндричних зразків довжиною 140 мм, діаметром від 6 до 40 мм, а також у стандартних зразках для механічних випробувань, виготовлених із литих проб вагою 10…12 кг з товщиною робочої частини 25 мм.

В зразках діаметром 6 мм, у чавуні, модифікованому в ливарній формі, кількість сфероїдів графіту досягає 500…800 одиниць в 1 мм^2 площі мікрошліфа при їх розмірі 15…20 мкм. З підвищенням діаметру зразка, тобто зі зниженням швидкості охолодження, кількість сфероїдів графіту різко зменшується з відповідним збільшенням їх розмірів у зразках діаметром 40 мм до 45…55 мкм. У чавуні, модифікованому у відкритому ковші або модифікованому в автоклаві, у зразках діаметром 6 мм розміри графітових включень також складають

15…20 мкм. Однак при низькій ступені графітизації їх кількість не перевищує 125 одиниць на 1 мм^2 площі мікрошліфа. У зразках діаметром 6 мм з чавуну, модифікованому в ливарній формі, евтектичний цементит зовсім відсутній, тоді як в чавуні, модифікованому в ковші або в автоклаві, основна частина вуглецю в зразках 6 мм пов'язана в голчастий цементит ледебуритної евтектики. У чавуні, модифікованому в ковші, евтектичний цементит зникає тільки в зразках діаметром 20 мм. У чавуні, модифікованому в автоклаві, окремі включення ледебуритного евтектики спостерігаються навіть у зразках діаметром 40 мм. При однаковому діаметрі циліндричних зразків площа мікрошліфа, зайнята феритом, в чавуні, модифікованому у формі, наближена до 80%. Структура металевої матриці чавуну в ковші ферито-перлітна, а модифікованого в автоклаві, у всіх зразках переважно перлітна з тонкою феритною оторочкою навколо сфероїдів графіту.

У структурі литих проб в чавуні, модифікованому в ливарній формі, кількість сфероїдів графіту в 1 мм^2 площі мікрошліфа на 40% більше, ніж у чавуні, модифікованому в ковші, і на 60% більше, ніж у чавуні, модифікованому в автоклаві. При однаковому вмісті вуглецю, середній діаметр сфероїдів становить відповідно 50, 65 і 85 мкм. У чавуні, модифікованому в автоклаві, є окремі ділянки ледебуритного евтектики , які відсутні в чавунах, модифікованих у формі або в ковші. Питома частка фериту в чавуні, модифікованому в ливарній формі, становить 85…95%, а металева матриця чавуну, модифікованого в автоклаві, переважно перлітна.

Різниця мікроструктур обумовлює істотну різницю механічних властивостей чавунів, модифікованих за різними технологічними варіантами. Встановили, що технологічний процес модифікування в ливарній формі забезпечує виробництво виливків з чавуну з підвищеними пластичними властивостями (δ до 13,5%) без вибілення в тонких перерізах стінок в литому стані більш надійно і стабільно, ніж процес модифікування у відкритому ковші або в автоклаві. Водночас, завдяки підвищеній дисперсності графіту і евтектичного зерна металевої матриці, характеристики міцності феритного чавуну, модифікованого в ливарній формі, стабілізуються на рівні $\sigma_в$=513 МПа.

УДК 621.74

Т. В. Лысенко, Т. И. Диброва, О. В. Цибенко

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ВЛИЯНИЕ ТИПА КОКИЛЯ НА ВРЕМЯ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

Процессы затвердевания отливки и прогрева формы при различных способах литья отличаются многообразием теплового взаимодействия. Формы условно подразделяют на группы по интенсивности охлаждения в них отливки и прогрева самой формы. Для неметаллических форм характерны малая интенсивность охлаждения отливки и большая интенсивность прогрева формы. Для кокиля характерной является средняя скорость охлаждения отливки и прогрева формы [1].

При прогреве кокиля различают два периода его теплового взаимодействия с затвердевающей отливкой. Сначала кокиль прогревается в глубину и ведет себя в тепловом отношении как полуограниченное тело. Затем, когда фронт температуры доходит до наружной поверхности, эта поверхность нагревается и перепад температуры по толщине формы уменьшается.

Цель настоящей работы - определение зависимости температуры кокиля (окрашенный кокиль и кокиль с искусственным воздушным зазором) и чугунной отливки от времени затвердевания, используя метод исключения переменных, разработанный А.И. Вейником [2].

В качестве отливки выбрана отливка ступицы, изготовленной из высокопрочного чугуна.

Исходя из конструкции ступиц (наличие ребер) и разработанной технологической схемы отливки, следует, что при раскрытии кокилей отливка должна оставаться в верхней половине кокиля.

Температуру поверхности отливки рассчитывали по формуле [3]

$$\vartheta_1 = \frac{\vartheta_{кр}\dfrac{\beta\xi}{\lambda_1 n_1}\vartheta_2}{1+\dfrac{\beta\xi}{\lambda_1 n_1}}, \qquad (1)$$

Глубину прогрева формы определяли из уравнения

$$X = \frac{\lambda_2 n_2}{\beta}\,\frac{\vartheta_2}{\vartheta_{кр}-\vartheta_2}\left(1+\frac{\beta\xi}{\lambda_1 n_1}\right), \qquad (2)$$

где $\vartheta_{кр} = T_{кр} - T_0$; $\vartheta_1 = T_1 - T_0$; $\vartheta_2 = T_2 - T_0$; $\vartheta_2 = T_3 - T_0$; $T_{кр}, T_1, T_2, T_3, T_0$

– температура соответственно кристаллизации, поверхности оливки, внутренней и наружной поверхности кокиля и его начальная температура; ξ *и* X_2 – товщина соответственно затвердевшей части оливки и стенки кокиля; n_1 *и* n_2 – показатели степени параболы, описывающие температурное поле соответственно затвердевшей оливки и прогретой части формы; β – термическая проводимость зазора между отливкой и кокилем; λ_1, λ_2 – теплопроводность материала оливки и формы.

В уравнения (1) и (2) не входять величины, характеризующие конфигурацию отливки и кокиля. Поэтому их можно использовать для расчетов в нашем смлучае.

В результате расчетов была определена продолжительность затвердевания оливки ступицы в кокиле с воздушным зазором и в окрашенном кокиле. Оказалось, что продолжительность затвердевания оливки ступицы в кокиле с воздушным зазором в 3,7 раза больше, чем в кокиле без зазора.

Список литературы

1. *Ефимов В.А.* Специальные способы литья / Ефимов В.А., Анисович Г.А., Бабич В.Н. и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 436с.

2. *Вейник А.И.* Приближенный расчет процессов теплопроводности. М.: Машиностроение, 1982. – 184с.

3. Лысенко Т.В., Степаненко А.В., Худенко Н.П. Определение коэффициента теплопроводности противопригарных покрытий стержней с использованием регрессионного анализа / Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2011. – № 4/5 (52). – С. 34 – 36.

УДК 621.74

Р.В. Лютий, Д.В. Кеуш, І.О. Шалай, В.С. Смольська

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

НОВИЙ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИЙ КОМПОНЕНТ ДЛЯ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ СОЛЕЙ КАЛІЮ І ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

Розроблення нових неорганічних зв'язувальних компонентів для стрижневих сумішей є актуальним питанням, оскільки удосконалення процесів формоутворення – це резерв для загального підвищення якості литва.

До теперішнього часу в ливарному виробництві обмежено застосовували в стрижневих сумішах фосфорнокислі солі заліза та магнію, зв'язувальна здатність яких широко відома. Вони являють собою кристалогідратну форму гідрофосфатів відповідних металів. До складу таких сумішей мають входити чиста або частково нейтралізована ортофосфорна кислота та порошковий затверджувач на основі оксиду відповідного металу [1].

Свого часу промисловістю активно вироблялися фосфатні зв'язувальні компоненти (ЗК), серед яких найбільш відомими є алюмофосфатний та алюмохромфосфатний. Вони є прикладами частково нейтралізованої H_3PO_4. Крім них, відомі також магнійалюмофосфатний, кальціймагнійалюмофосфатний, цинкмагнійалюмофосфатний та інші ЗК, які на цей час не виробляються.

Основним чинником, який стримав розвиток технологій виготовлення стрижнів із таких сумішей, була нестабільність хімічного складу порошкових матеріалів, які використовували як оксидні затверджувачі. Суміш може зміцнюватися і без затверджувача – при нагріванні. В залежності від типу ЗК, температура зміцнення є різною, від цього же залежить і структура зв'язувальних плівок. В ній переважають фосфати алюмінію, хрому, кальцію, магнію, та ін.

З іншого боку, аналогічні за структурою і властивостями суміші можна отримати на основі двокомпонентної системи, яка складається з ортофосфорної кислоти та хімічної сполуки, яка після взаємодії з нею забезпечить утворення фосфату відповідного металу. В першу чергу цими сполуками можуть бути солі металів, таких як магній, кальцій, марганець, алюміній а також натрій і калій.

Нашими дослідженнями доведено, що утворення сполук з високою зв'язувальною здатністю можливе при взаємодії ортофосфорної кислоти із водорозчинними солями металів – сульфатами, хлоридами, нітратами тощо [2].

Згідно теоретичних даних, суттєвий вплив на зв'язувальну здатність мають: величина радіусу катіона, сила поля катіона, співвідношення радіусів катіона і аніона та координаційне число аніона (що повинно складати 4…6). Оптимальним відношенням іонних радіусів катіона до аніона для найкращих зв'язувальних властивостей вважається 0,12…0,25. Тому катіони з великим іонним радіусом 0,74…1,04 Å – метали I та II групп Ca, Mg, Cu, Zn та інші – утворюють кристалічну структуру при високій швидкості тверднення [3]. При цьому міцність близька до нуля. Таким чином, отримати суміш, зміцнену фосфатами даних металів, вважалося неможливим.

Нами показано, що за умов застосування як компоненту суміші неорганічних солей металів I групи (зокрема калію) можливе повільне проходження реакції утворення фосфатів та висока кінцева міцність суміші.

До складу сумішей входили хлорид калію KCl та бромід калію KBr. При нормальній температурі вони навіть не вступають у взаємодію з H_3PO_4, що забезпечує сумішам тривалий період живучості. Після запресування у гаряче оснащення в суміші відбувається хімічний процес, який призводить до утворення фосфатів калію і, відповідно, зміцнення. Необхідна температура не перевищує 200 ^oC.

Попередній аналіз можливих реакцій у досліджуваних системах дає змогу зробити висновок про чисто хімічний характер взаємодії з утворенням кислих фосфатів калію KH_2PO_4 або K_2HPO_4, які і є зв'язувальними компонентами в суміші. В результаті ряду експериментів встановлено, що за відносно невеликого вмісту ортофосфорної кислоти та солей калію (приблизно по 3%) досягається міцність сумішей при стисканні на рівні 2,5…3,0 МПа, що є абсолютно достатнім для виготовлення складних стрижнів.

Список літератури

1. *Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И*. Формовочные материалы и смеси. – К.: Вища школа, 1980. – 416 с.

2. *Лютий Р.В., Гурія І.М., Шаповалова Д.В., Кеуш Д.В.* Образование связующих композиций в формовочных смесях на основе ортофосфорной кислоты и солей металлов // Литейное производство, 2013. – №5. – С. 16…19.

3. *Фокин В.И., Багрова Н.В., Королев Г.П., Багров Д.Ф.* Влияние клеящей способности металлофосфатных связующих на прочность смесей // Литейное производство, 1998. – №9. – С.17…18.

УДК 621.74.045

В.Ф. Мазорчук

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОЦЕНКА ТЕРМОСТОЙКОСТИ ПОЛЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

Низкая термическая стойкость полых керамических стержней приводит к их разрушению в момент контакта с заливаемым в форму металлом. Это обусловлено напряжениями в стержне, превышающих предел прочности его материала, вызванных перепадом температур по его сечению; различием значения коэффициента температурного линейного расширения (КТЛР) и др. Поэтому, решение задачи по получению качественных отливок с неудаляемыми полыми керамическими стержнями, является актуальной, решаемой в части определения термостойкости используемых керамических масс.

Термостойкость исследовали на образцах выполненных в виде стакана h=90 мм, Ø50 мм и в виде чашки h=90 мм, Ø85 мм, изготовленных из керамических масс с различным химическим составом и температурой обжига (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав и температура обжига керамических масс (ТУ У 14.2-32359731-001:2006)

Масса керамическая	Химический состав, %									Температура обжига, °С
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	п.п.п.	
ПФФ-4	67,0	21,2	0,50	0,6	0,4	0,33	2,55	1,05	6,5	1190 ... 1220
ПФФ-6	70,6	17,8	0,57	0,65	0,65	0,5	1,1	3,85	3,8	1150 ... 1200
ТФФ-1	61,5	27,2	0,34	0,45	0,3	0,2	2,4	0,4	7,2	1340 ... 1380
ТФЛ-1	61,5	27,2	0,34	0,45	0,3	0,2	2,4	0,4	7,2	1320 ... 1360
ТФЛ-2	63	25,5	0,45	0,08	0,18	0,3	3,2	0,3	7,0	1380 ... 1400

Термостойкость оценивали длиной трещин, образующихся на днище испытуемого образца. Длину трещин определяли с помощь курвиметра с точностью

±1 мм. В исследованиях испытуемые образцы из керамических масс заливали расплавом олова с температурой 250 ... 500 °С и сплавом АК12 с температурой 700 … 1100 °С. Замер длины трещин на днище залитых образцов, изготовленных из керамических масс, приведенных в табл. 1, проводили после их охлаждения до комнатной температуры.

В результате выполненных исследований установлено, что величина термостойкости тонкостенных керамических изделий, представляющая собой предельно допустимый перепад температур между расплавом и начальной температурой стержня, определенной по разработанной методике, составила 230 … 280 °С. При этом, на термостойкость не влияет ни начальная температура керамических образов, ни химический состав, ни температура их обжига.

УДК 621.742/743:666.76

И.И. Максюта, Ю.Г. Квасницкая, Е.В. Михнян

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ОГНЕУПОРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПЛАВИЛЬНЫХ ТИГЛЕЙ

На протяжении многих лет во ФТИМС НАНУ успешно решаются научно практические задачи по повышению прочностных характеристик огнеупоров, в том числе керамических смесей для тиглей. Возрастанию эксплуатационных характеристик огнеупоров на основе традиционных наполнителей (корунд, плавленый магнезит - периклаз) способствуют применение метода моно- и комплексного модифицирования дисперсными металлическими порошками [1,2].

Данная работа посвящена разработке термически и химически более стойких тиглей на основе периклаза для выплавки жаропрочных сплавов на основе никеля и кобальта.

Ранее авторами был предложен состав огнеупорной массы, включающий: спеченный магнезит (основа), вода, порошки алюминия, бора и магния [3].

Для повышения плотности и прочности в эту огнеупорную массу дополнительно добавляют порошок алюминия. Огнеупорная масса имеет достаточную температуру начала деформации под нагрузкой, но для сплавов нового поколения с повышенной температурой плавления термостойкость и прочность тиглей нужно повысить [4].

Поставленная задача была решена авторами введением комплекса модификаторов, включающих алюминий, бор и кремний. Следует сказать, что введение порошка кремния в этот состав приводит к образованию форстерита ($2MgO \cdot SiO_2$), который обладает высокой термостойкостью по сравнению с аналогами [3].

Интервал содержания кремния был выбран экспериментальными исследованиями. При минимальном количестве кремния (1 %) уже наблюдается повышение термостойкости и прочности огнеупорной массы для тиглей, а в увеличении кремния более 5 % (масс.) нет нужды, то есть в предлагаемом интервале достигается поставленная цель.

Наличие в огнеупорной смеси хлористого магния приводит к ускорению скорости синтеза шпинели ($MgO \cdot Al_2O_3$). При минимальном количестве хлористого магния (0,1 %) уже осуществляется повышение скорости синтеза шпинели, а при повышении хлористого магния более 0,5 % возрастает усадка изделий.

Интервал содержания бора был выбран экспериментальными исследованиями. При минимальном количестве бора (0,1 %) уже наблюдается повышение температуры начала деформации под нагрузкой огнеупорной массы для тиглей, а в увеличении бора более 0,6 % (масс.) нет нужды, то есть в предлагаемом интервале достигается поставленная цель.

Введение алюминия приводит к частичному образованием шпинели, которая положительно влияет на повышение температуры начала деформации под нагрузкой и на термостойкость огнеупорной массы, в то же время алюминий и бор образует соединения типа $9Al_2O_3 \cdot B_2O_3$, которые повышают прочность и температуру начала деформации под нагрузкой плавильных тиглей. Интервал содержания алюминия был выбран экспериментальными исследованиями. При количестве алюминия 3 % (масс.) уже наблюдается повышение термостойкости и прочности огнеупорной массы для тиглей, а в увеличении количества алюминия более 7 % (масс.) нет необходимости.

Список литературы

1. *Сімановський В.М.* Теорія та технологія модифікування формувальних сумішей для виливків зі спеціальних сплавів: Автореф. дис. д. техн. наук. – Київ: ФТІМС НАНУ. – 2008. – 36 с.

2. *Максюта И.И., Квасницкая Ю.Г., Михнян Е.В., Нейма А.В.* Повышение точности сложнопрофильных отливок при применении комплексномодифицированной стержневой керамики // Металл и литье Украины. – 2014. – № 2.
3. ПАТЕНТ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ № 46164, УКРАЇНА, МПК(2009) МПК8 СО4В 35/68, 35/20, ОПУБЛ. 10.12.2009, БЮЛ. № 23.
4. *Максюта И.И., Клясс О.В., Квасницкая Ю.Г., Мяльница Г.Ф., Михнян Е.В.* Технологические особенности высокохромистого никелевого сплава комплексно-легированного рением и танталом // Современная электрометаллургия. – 2014. – № 1. – С. 41-48.

УДК 669.14.018

И. И. Максюта, А. В. Нейма

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

ТЕРМО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМАХ

Как показал анализ научно-патентной литературы, перспективным способом получения прецизионных отливок из многокомпонентных сплавов на никелевой, кобальтовой, железной, титановой основах, может стать применение в оболочковых формах из традиционных керамических огнеупоров моделей из вспенивающихся полимеров (полистирола, полиэтилена, полиуретана). Однако существенными недостатками использования этих моделей является то, что при высоких температурах во время заливки металла поверхность отливки может насыщаться продуктами газификации полимеров, что недопустимо для низкоуглеродистых жаропрочных сплавов, которые используются для получения такой номенклатуры деталей.

Известно, что устранение указанных выше недостатков при гарантии прецизионности состава по всему объему отливки, снижение газонасыщенности и дефектности поверхности, повышение размерной точности деталей и чистоты поверхности можно достичь при применении литья в оболочковые формы с использованием растворяемых или выжигаемых моделей из вспененного полистирола.

Целью и задачами представленной работы является оптимизация процесса получения оболочковых форм из корунда по растворяемым моделям из пенополистирола (ППС) при литье лопаток ГТД из разработанного во ФТИМС НАНУ нового сплава ЧС 104 (Ta+Re) с повышенной температурой плавления за счет ввода активных тугоплавких элементов, что требует повышения химической и термической стойкости керамической оболочки формы.

Важно отметить, что при проведении процесса НК оболочка формы значительно более длительное время (до 40 мин в сравнении с 10-15 при равноосной кристаллизации) контактирует с перегретым расплавом, что может провоцировать интенсивное разъедание внутренних слоев на границе с кристаллизующейся отливкой, способствуя насыщению контактной зоны токсичными примесями, газами, неметаллическими включениями.

Комплекс экспериментов включал как подбор типа растворителя, так и определение параметров кинетики растворения для разных растворителей (объемная скорость $V_{об}$, расходный коэффициент $К_{расх.}$) в зависимости от типа пенополистирола с учетом объема модели и температуры растворителя.

Исходя из литературных данных и результатов ранее проведенных экспериментов были выбраны такие растворители, как живичный скипидар (ГОСТ 1571-82), технический скипидар (ТУ 13-0279856-74-87) и №646 (ТУ У 24.3-00904996-004-2004). Для проведения исследований использовали образцы двух типов ППС: марки ПСБ-25 (ГОСТ 15588-86) плотностью 25 кг/м^3 и значительно более прочного экструдированного ППС (Styrodur C) марки 4000 CS плотностью 35 кг/м^3, имеющего однородную структуру из герметических ячеек, содержащих воздух. Этот тип ППС, благодаря плотной структуре, обеспечивает большую жесткость и пониженную шероховатость элементов модели, при этом является экологически чистым, так как при его производстве не используются фреоны.

Анализ процесса растворения показал, что для ППС первого типа, имеющего большое количество открытых пор, растворитель интенсивно разрушает, особенно при повышенной (до 40 °С) температуре, стирольные стенки ячеек, и на последнем этапе растворения происходит супербыстрый распад пенополистирола.

Картина растворения экструдированного ППС, отличающегося плотной микроструктурой и практическим отсутствием макропор, что тормозит проникновение растворителя, имеет иной характер: постепенное уменьшение объема без

распада на отдельные гранулы, что увеличивает длительность растворения по сравнению с блочным, даже при повышенной температуре.

По результатам исследований, при сравнении термо-кинетических параметров ($V_{об}$, $см^3/с$, температура растворителя), для разных растворителей и объемов образцов от 34 $см^3$ до 103 $см^3$, как наиболее эффективный и экологически приемлемый для обоих видов ППС, оказался растворитель на основе живичного скипидара.

УДК 621.74.043:669.19:673.3

А.Г. Малявин, А.А. Кузьменко

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

ПРИМЕНЕНИЕ КАМНЕЛИТЫХ МЕТАЛЛОПРОВОДОВ В ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Целью работы являлась разработка камнелитого фторфлогопитового материала и конструкции металлопровода, характеризующегося высокой коррозионной и термической стойкостью в жидком алюминиевом сплаве, достаточной механической прочностью, герметичностью; разработка промышленной технологии получения металлопроводов из этого материала и внедрение ее на одном из предприятий.

Актуальность работы вызвана необходимостью обеспечения работоспособности литейной оснастки в машинах литья под низким давлением алюминиевых сплавов АЛ-2. Алюминиевые отливки, полученные на этих машинах с применением металлопроводов из чугуна или титана, не соответствовали требованиям ГОСТ 2685-75 из-за нарушения химического состава за счет увеличения количества примесей железа или титана. Недопустимое количество примесей получали уже в первые 24 часа эксплуатации этих металлопроводов.

Опыт работы камнелитых фторфлогопитовых каналов магнитодинамических установок МДН-6 показал их высокую коррозионную стойкость, надежность и достаточную прочность. Учитывая это, разработали конструкцию камнелитого металлопровода для машин литья под низким давлением алюминиевых сплавов, которая представляла собой трубу с внутренним диаметром 50 мм, толщиной стенки 20 мм и длиной 600 мм. В средней части снаружи металлопровод имеет цилиндрический выступ, на который опираются крепежные фланцы: с нижней стороны через герметизирующую прокладку, а сверху черех компенсаторное кольцо.

Для определения необходимой химической стойкости металлопроводов в сплаве АЛ-2 была проведена работа по определению оптимального состава камнелитого материала, для чего изготовили партию фторфлогопитовых металлопроводов (более 50 шт.) трех составов. Проведены промышленные испытания на машинах ЛА-01 и 83105.

Установлено, что камнелитые металлопроводы всех составов устойчиво работают в установках в среднем в течение 15 рабочих дней при трехсменной

работе оборудования. Отдельные отклонения были связаны с отсутствием необходимых навыков при работе с камнелитыми металлопроводами и неритмичностью работы машин.

Была определена химическая стойкость фторфлогопитовых металлопроводов в сплаве АЛ-2 при температуре эксплуатации 700-750°С. Химический анализ алюминиевого сплава отливок и металла заливаемого в машину показал отсутствие примесей и соответствие металла требованиям ГОСТ 2685-75, что свидетельствует о необходимой коррозионной стойкости фторфлогопитовых металлопроводов.

Для обеспечения имеющихся в литейном цехе установок литья под низким давлением камнелитыми фторфлогопитовыми металлопроводами на предприятии был создан специализированный участок. Участок оснащен электродуговой плавильной печью емкостью ~ 50 л, необходимым оборудованием и сырьевыми материалами. Разработана и внедрена на участке технология изготовления камнелитых фторфлогопитовых металлопроводов в разовых песчано-глинистых формах. На участке изготовлена основная партия металлопроводов для приёмочных испытаний, которые соответствуют требованиям работы установок литья под низким давлением алюминиевых сплавов, а полученные алюминиевые отливки соответствуют техническим требованиям ГОСТ 2685-75.

В результате создания специализированного участка и освоения производства камнелитых фторфлогопитовых металлопроводов на предприятии решена проблема работоспособности нового прогрессивного оборудования – установок для литья под низким давлением алюминиевых сплавов.

УДК 621.746: 669.18

В. А. Мамишев

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

О ПРИМЕНЕНИИ РЕОТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ К СОЗДАНИЮРЕОТЕРМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕТЕРОЛИТЬЯ

Системный анализ многофакторных процессов литья позволил выявить степень влияния двухфазной зоны кристаллизации интервальных сплавов [1] на кристаллическое строение литых изделий в процессе их затвердевания с целью разработки реотермической теории управления качеством литой структуры отливок, слитков, центробежно- и непрерывнолитых заготовок.

Главной стратегической задачей реотермической теории управления качеством литой структуры (первичной и вторичной) является научное обоснование наиболее эффективных технологических схем гетеролитья [1,2].

К основным тактическим задачам реотермической теории относятся:

- разработка методик системного прогнозирования дифференциальных и интегральных параметров двухфазной зоны затвердевания литых изделий;
- разработка методик системной оптимизации скоростей затвердевания литых заготовок разной массы, геометрии и габаритных размеров;
- поиск рациональных схем системного управления взаимосвязанными процессами захолаживания и перемешивания гетерогенного расплава;
- разработка реотермических механизмов затвердевания литых изделий, кристаллизации интервальных сплавов и формирования литой структуры;
- разработка реотермических критериев оптимальности двухфазной зоны затвердевания литых заготовок (критериев качества литья);
- выбор наиболее эффективных литейно-металлургических принципов повышения качества кристаллической структуры литых изделий;
- реотермическая классификация многофакторных процессов литья по признакам течения и кристаллизации расплава в двухфазной зоне.

Чтобы значительно упростить поиск управляющих физико-химических, теплофизических и динамических внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл, целесообразно изучить методами компьютерного прогнози-

рования нестационарные (для отливок и слитков) и квазистационарные (для непрерывнолитых заготовок) температурные поля в сложных системах слиток-изложница, заготовка-кристаллизатор, отливка-форма [3] и др.

Системное прогнозирование интегральных (протяженность двухфазной зоны и продолжительность двухфазного состояния) и дифференциальных (градиенты температуры и скорости охлаждения) параметров двухфазной зоны значительно повышает эффективность контроля термовременных параметров захолаживания расплава, а системная оптимизация скоростей затвердевания слитков и отливок существенно повышает эффективность регулирования термовременных параметров перемешивания гетерогенного расплава в зоне двухфазного (жидко-твердого и твердо-жидкого) состояния литых заготовок.

Комплексный характер системного анализа процессов затвердевания литых изделий и кристаллизации узко- и широкоинтервальных сплавов позволяет выявить возможности разных литейно-металлургических схем повышения качества кристаллической (дендритной и недендритной) структуры литого металла с учетом реотермических особенностей структурирования кристаллов в жидко-твердой части двухфазной зоны и их структурообразования в твердо-жидкой части двухфазной зоны фасонных отливок, слитков и заготовок центробежного и непрерывного литья [1 – 3].

Итак, реализация стратегических и тактических задач реотермической теории управления качеством литой структуры облегчает поиск конструктивно-технологических рекомендаций по улучшению качества литых изделий. При совмещении принципиально разных схем суспензионной разливки, осадочной кристаллизации, направленного затвердевания и рафинирующей подпитки можно получить разные технологические схемы гетеролитья, которые позволят повысить физико-механические и служебные свойства литых изделий.

Список литературы

1. *Мамишев В.А.* Реотермическая концепция управления кристаллическим строением литых изделий // Процессы литья. – 2004. – № 3. – С. 43 – 48.
2. *Мамишев В.А.* Системный анализ затвердевания литых заготовок с переменной кривизной границ двухфазной зоны // Процессы литья. – 2014. – № 1. – С. 19 – 26.

3. *Мамишев В.А.* О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка – форма – окружающая среда // Металл и литье Украины. – 2012. – № 11. – С. 31 – 35.

УДК 621.74.669.16:621.74.669.13

М.О. Матвеева, Б.В. Климович, В.В. Климович

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА СВОЙСТВА ЧУГУНОВ ЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОМ

Новый подход к созданию литейных сплавов и технологий, заключающийся в использовании структурной наследственности, предложен в работах [1, 2]. Основные достижения новых технологий: интенсификация процесса обработки расплава, высокое качество отливок, снижение их себестоимости..зависимость структуры чугуна от его химического состава, наследственных свойств шихтовых материалов, наличия в них микропримесей проанализирована в [3]. Титан, как микропримесь, всегда присутствует в чугуне, так как он входит в состав железных руд и попадает в расплав из шихтовых материалов (стальных и чугунных отходов). Поэтому в настоящей работе изучены наследственные связи между видом используемой лигатуры и структурой чугуна легированного титаном в количестве до 0,05 % по массе.

Влияние возрастающих присадок титана изучали в первом случае на сером графито-перлитном чугуне (СЧ) и во втором случае на белом цементито-перлитном чугуне (БЧ). И в том и другом случае наблюдалось незначительное количество других фаз, в реальных условиях идентичности структуры достичь практически невозможно. Подробный анализ результатов, полученных в серии плавок с использованием в качестве шихты серого чугуна и возрастающих присадок титана, приведен в [4]. Анализ твердости экспериментальных слитков показал, что ее значение в большей степени определяется количеством карбидной составляющей в структуре слитка.

Выводы. При использовании шихты, имеющей структуру серого чугуна, графитизирующий эффект от ввода титана более существенный, он влияет на уменьшение длины пластин графита и усиливает тенденцию к образованию

междендритного графита. Для белого чугуна графитизирующий эффект от ввода Ti значительно слабее, влияния на уменьшение длины пластин и образование междендритного графита не выявлено, но все характеристики графита более однородны.

Для структуры чугунов с Ti характерно полностью перлитное строение, но при плавке чугуна с использованием шихты из белого чугуна для получения перлитной структуры необходимо большее количество титана.

Характер влияния титана на структурообразование в белом и сером чугунах отличается: при его вводе в СЧ более выражен его графитизирующий эффект, а при вводе в БЧ он стабилизирует ледебурит.

Установлен различный характер наследственности при легировании титаном серого и белого чугунов. Полученные результаты исследований необходимо принимать во внимание при плавке промышленных чугунов, поскольку будут иметь место различное структурообразование, технологические и литейные свойства.

Список литературы:

1. *Никитин В. И.* Управление структурной наследственностью на стадии получения литых заготовок / Ж. «Вести Самар. гос. техн. ун-та». – 1994. – № 1. – С. 120-123.

2. *Никитин В.И.* Новые литейные технологии с использованием явления наследственности/ ж. «Литейное производство. – 1997. – № 5. – С.12.

3. *Писаренко Л.З., Лукашевич С.Ф.* О наследственности чугунов / Ж. «Литейное производство». – 2002. – № 7. – С.14-16.

4. *Матвеева М.О. Шаповалова О.М.* Влияние титана на формирование структуры чугуна/ Ж. «Металловедение и термическая обработка металлов». – 2008. – № 1. – С.65-75.

УДК 669.18

С.Г. Мельник, А.И. Троцан, В.И. Курпас, И.Л. Бродецкий,
В.Г. Ефимова, С.В. Жук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев,
Институт материаловедения НАН Украины, г. Киев, НТТУ «КПИ», г. Киев

ВНЕПЕЧНОЕ РАФИНИРОВАНИЕ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНЫХ ШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ: НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

При производстве качественных сталей широко используется внепечная обработка металла продувкой нейтральными газами, вакуумированием, модифицированием ЩЗМ и РЗМ, рафинированием активными жидкими шлаками. Активные рафинировочные шлаки, применяемые при обработке стали в ковше, позволяют улучшить качество металла за счет снижения в нем концентрации вредных примесей. Изменяется при этом и содержание неметаллических включений. С целью определения изменения НВ в конвертерной стали в результате применения ковшевой обработки ее активными рафинировочными шлаками определили состав и содержание НВ в штрипсовой стали 09Г2БТ и низколегированной стали 09Г2С и сопоставили их с данными, полученными по обычной технологии производства этих сталей.

Сталь выплавляли в большегрузных конвертерах из жидкого передельного чугуна и металлического лома продувкой технически чистым кислородом. Раскисление и легирование металла производили в сталеразливочном ковше во время выпуска из конвертера. Активные рафинировочные шлаки формировали в сталеразливочном ковше за счет тепла выпускаемой из конвертера стали присадкой извести и плавикового шпата в соотношении 3:1 (4:1). Продувку стали в ковше аргоном, микролегирование и модифицирование ее выполняли с применением оборудования установок доводки металла – устройств для вдувания газа и газопорошковых смесей, трайб-аппаратов для ввода в металл порошковых проволок и механизированных устройств для присадки корректирующих и микролегирующих добавок. Во время внепечной обработки осуществляли экспресс-контроль химического состава металла и температуры. Сталь после внепечной обработки разливали на машинах непрерывнолитой заготовки МНЛЗ криволинейного типа в слябы.

Отбор проб стали и оценку ее загрязненности проводили в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ИСО 4967 – 79 (ГОСТ 1778 –

70) «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений» (Метод Л, вариант Л2) для конвертерной стали. Определяли состав и общее содержание НВ (оксидов, силикатов, сульфидов и нитридов) на нетравленых шлифах при увеличении 500 КРАТ. Концентрацию НВ, в соответствии с указанной методикой, определяли в относительных единицах.

Для штрипсовой стали 09Г2БТ, которая с целью глобуляризации НВ обрабатывается силикокальцием, установлено, что общая загрязненность НВ после рафинирования уменьшается в 1,7 раза, а для низколегированной стали 09Г2С – в 1,5 раза. В результате обработки активным рафинировочным шлаком количество силикатов в стали 09Г2БТ снижается от $1{,}45\cdot10^{-3}$ до $1{,}26\cdot10^{-3}$, оксидов - от $0{,}85\cdot10^{-3}$ до $0{,}34\cdot10^{-3}$, сульфидов более, чем в 3 раза - от $2{,}76\cdot10^{-3}$ до $0{,}80\cdot10^{-3}$. В низколегированной стали 09Г2С, которая не подвергается модифицированию силикокальцием, при общем снижении концентрации НВ количество сульфидов после рафинирования расплава снижается примерно в 2,5 раза – от $3{,}64\cdot10^{-3}$ до $1{,}58\cdot10^{-3}$, силикатов – от $2{,}61\cdot10^{-3}$ до $2{,}04\cdot10^{-3}$ и оксидов от $1{,}75\cdot10^{-3}$ до $0{,}66\cdot10^{-3}$. После обработки содержание сульфидов уменьшается также в металле из кристаллизатора МНЛЗ от $6{,}81\cdot10^{-3}$ до $1{,}22\cdot10^{-3}$, а в центральной части непрерывнолитой заготовки от $10{,}46\cdot10^{-3}$ до $2{,}08\cdot10^{-3}$.

Из приведенных данных видно, что ковшевая обработка стали рафинировочными шлаками и силикокальцием в сочетании с продувкой аргоном обеспечивает снижение загрязненности стали НВ, в том числе значительное уменьшение количества сульфидов в металле на всех переделах его производства от выпуска из конвертера до получения готовой непрерывнолитой заготовки. Повышение эффективности процесса удаления сульфидов из расплава после модифицирования стали SiCa можно объяснить глобуляризацией сульфидов, способствующей лучшим условиям флотации их из жидкого металла в сталеразливочном и промежуточном ковшах, кристаллизаторе МНЛЗ, а также при затвердевании сляба в МНЛЗ.

Таким образом, внепечное рафинирование стали с использованием активных шлаковых смесей позволяет существенно снизить загрязненность ее НВ и, как следствие, улучшить служебные свойства и конкурентоспособность металла.

УДК669.187.2:621.746.

С.Г. Мельник

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

Тел. 424-25-50, e-mail: opprs@ptima.kiev.ua

АКТИВНОСТЬ ИОНОВ КИСЛОРОДА В РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКАХ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Применение технологии производства качественных сталей с внепечным рафинированием предварительно подготовленными шлаками позволяет достигнуть снижения содержаний серы, фосфора и неметаллических включений в металле, что улучшает служебные характеристики и конкурентоспособность сталей.

Вместе с тем, на эффективность рафинирования стали активными шлаками существенное влияние оказывает химический состав шлаков. Для шлаков системы CaO-Al_2O_3-SiO_2, являющейся основой металлургических рафинирующих шлаков при производстве стали, увеличение концентрации CaO и снижение концентрации SiO_2 способствуют повышению рафинирующей способности шлаков. Так, при ковшевом полиреагентном рафинировании трубной стали 10Г2ФБ, включающем обработку ее нейтральным газом аргоном, модифицирование силикокальцием и рафинирование активным шлаком с присадкой твердой шлакообразующей смеси ТШС из извести и плавикового шпата получена следующая зависимость сульфидной емкости шлака $C_{(S)}$ от концентрации в шлаке оксида кальция (% CaO) [1]:

$$C_{(S)} = 3{,}1 \cdot 10^{-3} (\%CaO) - 0{,}17 \qquad (1)$$

с коэффициентом корреляции $r = 0{,}88$ и коэффициентом надежности $\mu = 18{,}2$.

Сульфидная ёмкость шлаков $C_{(S)}$ может служить характеристикой в общем виде определяется по известным выражениям [2]:

$$C_{(S)} = (S) \cdot \left(\frac{P_{O_2}}{P_{S_2}} \right)^{1/2} = \frac{\sqrt{K_S} \cdot (\alpha_{O^{2-}})}{f_{S^{2-}}}, \qquad (2)$$

где (S) – содержание серы в шлаке; P_{O_2} и P_{S_2} - парциальные давления кислорода и серы в газовой фазе; K_S - константа равновесия реакции обменного типа, определяемая по значениям активностей и парциальных давлений серы и ки-

слорода в шлаковой и газовой фазах; $f_{S^{2-}}$ - коэффициент активности ионов серы в шлаковой фазе; $\alpha_{O^{2-}}$ - активность ионов кислорода в шлаковой фазе.

Значения $C_{(S)}$ сталеплавильного жидкого шлака могут быть определены при помощи оптической основности шлака Λ с привлечением концепции Даффи и Ингрэма [3] по уравнению

$$\lg C_{(S)} = \frac{22690 - 54640 \cdot \Lambda}{T} + 43{,}6\Lambda - 25{,}2 \ , \qquad (3)$$

где Λ – оптическая основность шлака; Т – абсолютная температура, К.

Из равенства (2) следует прямая зависимость рафинирующей способности шлака, определяемой значениями сульфидной емкости $C_{(S)}$ от термодинамической активности ионов ионов кислорода в шлаковом расплаве.

Относительную активность ионов кислорода в шлаке системы $CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}SiO_2$, определяли методом Э.Д.С. в лабораторных условиях [4].

Результаты исследований [4] показывают, что при содержании (SiO_2) в расплаве примерно до 20 % величина относительной активности иона кислорода $\alpha^*_{O^{2-}}$ достаточно высока, что соответствует анионно–катионной структуре расплава. С ростом содержания (SiO_2) наблюдается значительное снижение значений активности иона кислорода $\alpha^*_{O^{2-}}$. В интервале концентраций (SiO_2) от 65 до 100 %, которому соответствует величина относительной активности иона кислорода $\alpha^*_{O^{2-}}$ ≈ $5 \cdot 10^{-3}$, преобладает каркасная структура расплава на основе анортита, геленита и кристобалита, чем и объясняются малые значения $\alpha^*_{O^{2-}}$ в этой области шлаковых расплавов системы $CaO\text{-}Al_2O_3\text{-}SiO_2$ и пониженная рафинирующая способность шлаков.

Список литературы

1. Тарасевич Н.И., Мельник С.Г., Якобше Р.Я. и др. Технология производства конвертерной стали с полиреагентным рафинированием. – К. – Информлитье, 2010. – 262 с.

2. Мельник С.Г. Сульфидная ёмкость активных рафинировочных шлаков при производстве конвертерной стали с применением ТШС // Металл и литьё Украины. – 2000. – № 3-4. – С. 30-31.

3. Соммервиль И.Д. Измерение, прогноз и применение ёмкостей металлургических шлаков // Труды конф. «Инжекционная металлургия′ 86»: Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1990. – С.107-120.
4. Евтюхина И.А., Мельник С.Г., Байдов В.В. Активность иона кислорода в шлаковых расплавах // Теория металлургических процессов. Тематический отраслевой сборник МЧМ СССР. – М.: Металлургия, 1974. – № 2. – С.90-94.

УДК 669.187.2.621

С.Г. Мельник, В.И. Курпас, В.Г. Ефимова, С.В. Жук,
Е.И. Быков, А.А. Сычевский
Физико-технологический институт металлов и сплавов
НАН Украины, г. Киев, НТТУ «КПИ», г. Киев
Тел. 424-25-50, e-mail: opprs@ptima.kiev.ua

ИЗМЕНЕНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНВЕРТЕРНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ

В последнее время при производстве стали применяют важный параметр – окисленность стали, который используют в качестве технологического параметра при управлении процессами выплавки стали заданного химического состава. Окисленность стали, которая показывает наличие в металлическом расплаве свободного, или активного, кислорода, оказывает значительное влияние на физико-химические процессы, протекающие при раскислении, обработке нейтральными газами и модифицировании стали в сталеразливочном ковше после выпуска из плавильного агрегата перед непрерывной разливкой на МНЛЗ. Знание окисленности стали позволяет повысить эффективность управления процессами внепечной обработки стали.

Окисленность стали определяли с помощью устройства контроля окисленности стали УКОС-1. В основу определения окисленности стали положен метод Э.Д.С., который обеспечивал измерение электродвижущей силы (Э.Д.С.), возникающей в электрохимической ячейке при контакте датчика окисленности и электрода сравнения (Mo) с жидкой сталью.

Проведенными замерами окисленности конвертерной углеродистой стали 3сп установлено снижение активного кислорода в стали от начального значе-

ния 0,1393 до 0,0009 % после раскисления, легирования и обработки аргоном, и затем некоторое возрастание до 0,0016 % в кристаллизаторе МНЛЗ.

Несколько иные результаты получены при ковшевой обработке низколегированной низкосернистой стали ответственного назначения, предназначенной для производства газопроводных труб большого диаметра, типа 09Г2ФБ. Эта сталь с целью модифицирования неметаллических включений обрабатывается силикокальцием, вводимым в металл в сталеразливочном ковше с расходом до 2 кг/т стали. Модифицирование стали заключается в глобуляризации неметаллических включений, в том числе сульфидов, что значительно улучшает служебные свойства низкосернистой стали.

Окисленность трубной стали в результате внепечной обработки с применением модифицирования силикокальцием уменьшилась от исходного значения активности кислорода в металле $\alpha_{|O|}$ в начале обработки силикокальцием 0,0058 % до 0,0005 % после обработки. При последующей разливке стали на МНЛЗ получили значения активности кислорода в стали 0,0012 %. Снижение активности кислорода в стали до 0,0005 % по сравнению с углеродистой сталью 3сп (0,0009 %) объясняется раскисляющим воздействием на металл кальция, а последующее возрастание окисленности до 0,0012 % - вторичным окислением стали при разливке ее на МНЛЗ.

Полученная при производстве штрипсового металла зависимость коэффициента распределения серы между шлаковой и металлической фазами L_S от активности кислорода в металле $\alpha_{|O|}$ подтвердила существенное влияние окисленности металла на эффективность его десульфурации. Данные по окисленности металла использовали при разработке технологических процессов производства конвертерной стали для повышения эффективности внепечного рафинирования стали.

УДК 621.771.07

Е. В. Меняйло

НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ,

ДНЕПРОПЕТРОВСК

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РОСТА ШАРОВИДНОГО ГРАФИТА В ЧУГУНЕ

Наиболее близкой к рассматриваемой модели является «пузырьковая» гипотеза А.А. Горшкова, которая основана на образовании мелких газовых пузырьков, в полость которых растет графит. Однако продувка расплава аргоном и азотом не обеспечивает получение графита шаровидной формы, хотя пузырьки образуются.

Отличительной особенностью разработанной модели является использование теплофизических процессов нагрева, расплавления и перехода модификатора магния в парообразное состояние в дополнение к существующим гипотезам о химических процессах, связанных с удалением из расплава серы и кислорода.

Переход магния в парообразное состояние сопровождается поглощением значительного количества тепловой энергии из близлежащих слоев чугуна, образованием быстро затвердевшей сферической оболочки, внутри которой находится парообразный магий. Сформировавшийся комплекс является зародышем для последующего роста шаровидного графита.

Выведены расчетные формулы и установлены особенности процесса формирования сферической оболочки из быстро затвердевшего чугуна и парообразного магния, изменения их размеров в процессе модифицирования расплава и затвердевания отливки. Разработанная модель процесса зарождения и роста шаровидного графита в чугуне позволила объяснить:

- увеличение скорости ультразвуковых колебаний в расплаве после модифицирования магнием;
- отсутствие шаровидного графита при повышенном содержании вводимого магния;
- отсутствие шаровидного графита при длительной выдержке расплава после модифицирования;

- отсутствие шаровидного графита при модифицировании в автоклаве с давлением свыше 6 атм;
- лучшую глобулярность графита в нижней части отливки, по сравнению с ее верхней частью;
- отсутствие шаровидного графита при модифицировании чугуна, имеющего повышенную температуру;
- уменьшение плотности жидкого чугуна после модифицирования магнием;
- увеличение диаметра шаровидного включения при уменьшении скорости затвердевания и увеличении продолжительности кристаллизации отливки;
- причины понижения температуры солидус и отсутствия при этом уменьшения температуры ликвидус;
- причины повышенного содержание магния в тонком слое чугуна, прилегающем к графитовому включению, хотя магний не растворяется в железе и отсутствует в остальном объеме отливки.

Расчет показал, что количество тепла, поглощаемое каплей магния при ее нагреве до температуры кипения 1103 ^{0}C, достаточно для быстрого охлаждения и затвердевания близлежащих объемов чугуна. Масса этого слоя чугуна в ~14 раз больше массы магния, введенного в расплав. Высокая упругость паров магния обуславливает устойчивость шаровидной формы образовавшегося комплекса. Давление пара магния внутри оболочки уравновешивает сумму давлений столба металла в ковше, атмосферного и давления, обусловленного кривизной поверхности пузырька кипящего магния.

Исследование образов чугуна Ø35 мм и толщиной 6 мм, залитых в медный разъемный кокиль, показал, что до модифицирования на поверхности микрошлифов пористость не обнаружена. После модифицирования при увеличении 1000 отчетливо видны поры шаровидной формы. Различные уровни плоскости шлифа и поры шаровидной формы подтверждаются интенсивностью отраженных лучей в глубине поры и отсутствием фокуса на основной поверхности шлифа. При увеличении 1000 в 18 полях зрения размер пор составлял от 3 до 5 мкм. Следует учесть, что небольшой размер полученных пор невозможно обнаружить при общепринятых методах подготовки шлифов с помощью алмазной пасты.

Исследование плотности 24 образцов чугуна до и после модифицирования с помощью метода гидростатического взвешивания образцов в четыреххлористом углероде и расчетными, по правилу аддитивности при изменении химиче-

ского состава чугуна, показало уменьшение плотности чугуна после модифицирования во всех экспериментах.

УДК 621.74.045:669.245.018:620.193.53

А. М. Михайловская

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТАНТАЛА И РЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЖС32-ВИ

В наше время изготовление наземных силовых и энергетических установок развивается в ракурсе результативного объединения двух критериев - снижение себестоимости изделия с сохранением уровня его эксплуатационных свойств и надёжности.

Представленная работа посвящена решению важной научной и практической задачи – оптимизации экономнолегированного состава сплава, обеспечивающего повышение его структурной и фазовой стабильности и коррозионной стойкости при сохранении уровня прочностных свойств.

Высокожаропрочный никелевый сплав ЖС32-ВИ полностью удовлетворяет требованиям, как материал рабочих лопаток. Однако данный сплав имеет очень высокую стоимость, в основном, за счет легирования очень дорогим и дефицитным элементом рением (4 % по массе), который делает применение сплава ЖС32-ВИ для рабочих лопаток стационарных газотурбинных установок экономически нецелесообразным.

Кроме высокой стоимости, сплав ЖС32-ВИ показывает структурную и фазовую нестабильность при долговременном влиянии высоких температур (1000…1100 °С), которые являются следствием образования значительного количества топологически плотноупакованных (ТПУ) фаз типа μ-фазы и двойных карбидов типа МеС, которые негативно влияют на показатели жаропрочности и пластичности.

Рений является одним из немногих элементов, которые повышают температуру плавления никелевых сплавов и оказывают наиболее заметное влияние на термостабильность γ-матрицы, тем самым существенно улучшая жаропрочные свойства металла.

Положительное влияние тантала на механические свойства никелевых сплавов объясняется тем, что при легировании этим элементом образуется монокарбид тантала, более прочно связанный с матрицей по сравнению с другими видами карбидов. С повышением концентрации тантала в сплаве (или при уменьшении содержания титана) он принимает более интенсивное участие в образовании карбида MeC, частично вытесняя из него титан, вольфрам, молибден. Легирование жаропрочных сплавов танталом обеспечивает их длительную работоспособность при повышенной температуре.

В данной работе 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.

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

Результаты механических испытаний 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.

УДК 669.715: 662.761:669.4

В. Л. Найдек, А.В. Наривский , Н.С. Пионтковская , В.В. Федоров

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

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ГАЗОФЛЮСОВОЙ ОБРОБОТКИ РАСПЛАВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В ФТИМС НАН Украины разработаны технологии глубинной обработки расплава плазмореагентными средами и вращающимся активатором. Эти способы основаны на интенсивном диспергировании газа и реагентов с равномерным распределением их в жидкометаллической ванне.

Для механического дробления газа и флюса, которыми обрабатывали сплав, применили активатор в виде горизонтального диска с диаметральными пазами на нижней поверхности. Особенность такой обработки состоит в том, что при вращении активатора со скоростью 400-420 об/мин над диском образуется воронка. При достижении воронкой диска его поверхность освобождается от металла и флюс с поверхности ванны в диспергированном виде замешивается в расплав. При создании над ванной инертной атмосферы в расплав поступает аргон и дробится на пузырьки. В пузырьки аргона из расплава поступает водород и вместе с ними выносится на поверхность. Газовые пузырьки на поверхности металла разрушаются, а водород из них, плотность которого в 20 раз меньше по сравнению с аргоном, удаляется через отверстие в крышке в атмосферу. В этом случае аргон в расплав замешивается многократно и поступает в глубину ванны в нагретом состоянии. В результате этого водород интенсивнее переходит из металла в нагретые пузырьки газа, меньше охлаждается сплав при рафинировании, уменьшается расход аргона на обработку.

Сравнили эффективность рафинирования алюминиевого сплава АК7 (ДСТУ 2839-94) предложенными способами с известными технологиями обработки расплава (флюсование, продувка скоростными струями газа). Для флюсования жидкого металла во всех экспериментах применяли универсальный флюс (вес.%: 35 NaCl, 25 KCl, 30 NaF, 10 Na_3AlF_6) в количестве 0,3 % от массы металла. Флюс расплавляли в печи сопротивления и в жидком состоянии вводили в металл, что позволило исключить факторы, влияющие на газонасыщенность сплавов (условия хранения и дисперсность реагентов, а также влагу, которая остается в флюсах даже после прокаливания их при температуре 700 °С в течении 2 часов и др).

Сплав в количестве 60кг рафинировали в печи сопротивления, а с помощью дискового активатора – в индукционной печи ИСТ-016 с графитовым тиглем. Продувку сплава плазменной и скоростными газовыми струями, а также высокотемпературным газом с парами флюса проводили при расходе аргона 7 л/мин, избыточном давлении 0,3 МПа в течении 6 мин. при температуре металла 720-730 °С. Содержание водорода и оксидных включений в сплаве, рафинированного разными способами и выдержкой расплава в течении 10 мин, после обработки, приведено в таблице.

Таблица – Эффективность рафинирования сплава АК7 разными способами.

Способ обработки расплава	Содер. оксидов в сплаве, %	Степень удаления оксидов, %	Содер. водорода в сплаве, $см^3$/100 г	Степень удаления водорода, %
Флюсование расплава колокольчиком	0,046 / 0,025	0,46	0,6 / 0,47	22
Скоростной струей аргона	0,044 / 0,032	32	0,62 / 0,28	55
Скоростной струей аргона флюсованного расплава	0,038 / 0,015	61	0,55 / 0,21	62
Замешивание аргона в расплав активатором	0,04 / 0,031	23	0,46 / 0,24	48
Замешивание аргона активатором в флюсованный расплав	0,05 / 0,021	58	0,58 / 0,19	67
Заглубленной в расплав плазменной струей	0,04 / 0,018	55	0,43 / 0,18	58
Заглубленной в расплав плазменной струей с парами флюса	0,038 / 0,01	74	0,54 / 0,10	81
В числителе содержание оксидов и водорода в сплаве до обработки, в знаменателе – после рафинирования расплава.				

Представленные результаты свидетельствуют о высокой эффективности рафинирования сплавов предложенными способами, которые успешно можно применять в производстве высококачественных отливок.

УДК 669.012.3:657.471

В.Л. Найдек, В.И. Курпас, С.Г. Мельник

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

К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ

В последнее время все чаще рафинирование металлического расплава от вредных примесей и неметаллических включений производят обработкой активными сталеплавильными шлаками. Для повышения эффективности применения этих шлаков при производстве стали требуется их регенерация, что приводит к дополнительным затратам. Так как энергетическая составляющая использования шлаков в металлургии служит существенной величиной снижения общих энергетических потерь при производстве стали, оценка применения шлаков, в том числе регенерированных, с позиций энерго- и ресурсосбережения является весьма актуальной.

В настоящей работе выполнена сравнительная оценка энергоемкости производства конвертерной стали с долей металлолома в шихте 25 %, получаемой по традиционной технологии с внепечным рафинированием чугуна гранулированным магнием (0,0015 % от массы чугуна), стали – известково-глиноземистым шлаком (4 % от массы металла) и с использованием в технологическом цикле регенерированных сталеплавильных шлаков соответствующего состава для обработки чугуна и стали (4 % от массы металла) и в шихту (5 % от массы металла) взамен извести. При выполнении расчетов в энергоемкость отнесли затраты первичной энергии (накопление потенциальной тепловой энергии), в том числе затраты на получение и транспортировку сырья и топлива. Учли также теплотворную способность топлива.

В таблице представлены данные, которые были использованы при расчете энергоемкости синтезированного шлака, полученного в реакторе из конечного конвертерного шлака. Расчетная удельная энергоемкость синтезированного шлака составила 5930 МДж/т.

Таблица

Затраты первичной энергии на получение синтезированного шлака в реакторе

Материалы	Ед. измер.	Удельный расход на 1 т шлака, ед.	Удельная энергоемкость, МДж/ед.	Затраты первичной энергии, МДж/т шлака
Конвертерный шлак	кг	1000	–	–
Отсевы Al стружки	кг	73	70,5	5146
Антрацит	кг	15	31,0	465
Известь	кг	64	5,4	346
Плавиковый шпат	кг	16	1,0	16
Огнеупоры	кг	10	16,5	165
Природный газ	$м^3$	20	37,6	752
Металлический. осадок	кг	160	60	- 960
Всего		–	–	5930

При использовании регенерированного в миксере шлака для десульфурации чугуна за счет повышения его выхода на 0,65 % достигается экономия первичной энергии, равная 70 МДж/т.

Расчетные затраты первичной энергии при ковшевом рафинировании стали известково-глиноземистым шлаком в количестве 4 % увеличиваются на 1829 МДж/т стали, в том числе при производстве извести и глинозема – на 704, а при получении рафинировочного шлака на – 1125 МДж/т стали.

Общие энергозатраты на производство конвертерного металла с внепечной обработкой чугуна и стали по традиционной технологии составляют 23841 МДж/т. а применение в процессах производства стали жидких сталеплавильных шлаков, доведенных до необходимого состава в миксере и реакторе, позволяет экономить на каждой тонне металла около 2,2 ГДж или 75 кг у.т.

УДК 669-154: 669.715:669.782

Наривский А.В., Пионтковская Н.С., Федоров В.В.

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

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ГАЗОФЛЮСОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СИЛУМИНОВ

Прочностные и эксплуатационные характеристики изделий из алюминиево-кремниевых сплавов (силуминов) во многом зависят от структуры литого металла. Для измельчения структурных составляющих в силуминах применяют

разные модификаторы и способы их ввода в расплав. Степень диспергирования структуры в сплавах, особенно для больших масс металла, зависит от интенсивности и взаимодействия и полноты усвоения модификатора расплавом, равномерности распределения его в объеме ванны. Поэтому для эффективного модифицирования сплава необходимо создавать развитую поверхность взаимодействия вводимой добавки с жидким металлом.

Изучили структуру и свойства отливок из сплава АК7 (ДСТУ 2839-94), обработанного разными способами: флюсование расплава, продувка его плазменной или холодными скоростными струями газа, замешивание аргона из печной атмосферы в металл дисковым активатором (ω=400-420 об/мин), высокотемпературной смесью аргона с парами флюса, которую вводили в глубину ванны плазмотроном. Холодным аргоном и активатором рафинировали сплав без флюса и проводили флюсование расплава перед обработкой. Расплавленный флюс (вес.%: 35 NaCl, 25 KCl, 30 NaF, 10 Na_3AlF_6) в количестве 0,3 % от массы сплава вводили в металл специальным колокольчиком.

Установили, что после обычного флюсования расплава структурные составляющие в сплаве измельчаются незначительно. Средний размер зерна в отливках уменьшается от 2,6 (исходный сплав) до 1,7 мм, микроструктура сплава при этом состоит из относительно крупных дендритов α-твердого раствора и эвтектики между ними.

При продувке сплава скоростными газовыми струями так же, как и при замешивании аргона в расплав активатором средний размер зерна в отливках изменяется от 2,6 до 1,9-2,0 мм. После предварительно флюсованного расплава этими же способами - на 46-50 % (до 1,3-1,4 мм).

Значительные структурные изменения в сплавах происходят после глубинной обработки расплава плазменной струей или высокотемпературной газовой смесью. Под воздействием плазменной струи в сплаве равномерно распределяются и диспергируются α_{Al} и β_{si}- фазы. Средний размер зерна в отливках при этом уменьшается на 57-58 % и составляет 1,1 мм. Продувка металла высокотемпературной смесью аргона с парами флюса позволяет изменить размер зерна в сплаве от 2,6 до 0,6 мм.

В зависимости от эффективности рафинирования и модифицирования сплава изменяются физико-механические свойства литых изделий (табл.)

Таблица

Прочностные характеристики отливок из сплава АК 7 после обработки расплава разными способами.

№ пп	Способ обработки расплава	Свойства литого металла		
		$\sigma_в$, МПа	δ, %	Твердость по Бринеллю, МПа
1.	Флюсование расплава колокольчиком	162	2,1	624
2.	Скоростной струей аргона	178	3,4	688
3.	Скоростной струей флюсованного расплава	205	4,7	804
4.	Замешивание аргона в расплав диском	182	2,9	655
5.	Замешивание активатором аргона в предварительно флюсованный расплав	202	4,8	678
6.	Плазменной струей	208	5,3	794
7.	Плазменной струей с парами флюса	226	6,2	849
8.	ДСТУ 2839-94	157	1,0	600

Видно, что максимальные значения физико-механических свойств в литом металле достигаются при глубинной обработке сплавов плазменной струей с парами флюса. После такого комплексного воздействия на расплав $\sigma_в$ отливок увеличивается на 28 %, δ – на 66 %; твердость – на 26-27 %. Результаты исследований свидетельствуют о том, что газофлюсовая или плазмореагентная обработка расплава позволяют существенно повысить прочностные свойства отливок по сравнению с известными способами рафинирования и модифицирования сплавов.

УДК 669.131.7:539.216

Е. П. Нестерук, Н. П. Моисеева, Т. В. Зеленская, В. Н. Талько

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ПРОТОЧНЫХ РЕАКТОРАХ

В настоящее время возрастает потребность машиностроения в отливках из высокопрочного чугуна повышенного качества. Это определяет необходимость совершенствования традиционных и создание новых процессов модифицирования высокоуглеродистых расплавов. Наиболее рационально производить мелкое и среднее литье на высокопроизводительных автоматических линиях. Оптимизация параметров процесса модифицирования в проточных реакторах, расположенных в литниковой системе, способна обеспечить повышение качества отливок из высокопрочного чугуна. Несмотря на очевидные преимущества, модифицирование в литейных формах не получило широкого распространения в нашей промышленности, что объясняется недостаточной изученностью процессов плавления и растворения модификаторов в проточных реакторах и влияния на него технологических параметров, которые позволяют целенаправленно воздействовать на механизм и кинетику процесса взаимодействия расплава с модификатором. Факторами, определяющими эффективность модифицирования, являются теплофизические процессы, обеспечивающие расплавление модификаторов [1], и параллельно протекающие физико-химические процессы переноса модифицирующих элементов в расплав чугуна [2], установление закономерностей которых позволит создать технологии получения высокопрочного чугуна.

Исследовано влияние технологических параметров на степень перехода магния из магниевой лигатуры ФСМг7 в металл отливок при модифицировании в прямоточном и центробежном реакторах. Получены экспериментальные данные о влиянии расхода магниевой лигатуры ФСМг7, её фракционного состава, диаметра проточного реактора, коэффициента заполнения реактора твердой фазой, температуры заливки чугуна в литейную форму на переход магния в металл отливок и коэффициент его усвоения при модифицировании в прямоточном и центробежном реакторах.

Создание в проточных реакторах режима центробежного движения расплава активизирует размыв засыпки модификатора, ускоряя образование движу-

щейся жидко-твердой среды, в которой интенсифицируется тепломассообмен, что позволяет создать высокоэффективные процессы модифицирования в предкристаллизационном периоде и повысить степень перехода магния из лигатуры в металл отливок на 30-50% и более. Применение центробежных реакторов позволяет увеличить заполнение их твердой фазой до 70-75 % и таким образом повысить выход годного литья. Открывается также возможность применения расширенных по гранулометрическому составу полидисперсных фракций 1…10 и 1…15, что, по сравнению с широко применяемой фракцией 1…5 мм, существенно снизит затраты на дробление и рассев лигатуры и уменьшит количество отходов в виде образующейся при дроблении пылевидной фракции с размером частиц менее 1 мм. Процесс модифицирования в центробежных реакторах менее чувствителен к колебаниям технологических параметров и позволяет значительно повысить степень перехода магния и других модифицирующих элементов в металл отливок, что способствует улучшению структуры, и повышению свойств изделий из высокопрочного чугуна и обеспечивает ресурсосбережение.

Литература

1. Тарасевич Н. И., Бубликов В. Б., Корниец И. В., Суменкова В. В., Нестерук Е. П. Теплофизика взаимодействия модификаторов с жидким чугуном // Процессы литья. – 2007. – №6. – с. 39-46.

2. Верховлюк А.М. Кинетические особенности растворения твердых материалов в расплавах на основе железа / А.М. Верховлюк // Процессы литья. - 2004. – № 3. – С. 10-20

УДК 669.141.246:531.112

В.Г. Новицкий, В.П. Гаврилюк, Д. Д. Панасенко, В.Я. Хоружий, Н.А. Кальчук

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

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛИТОЙ СТАЛИ ТИПА 110Х17 ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ СКОЛЬЖЕНИЯ

В ряде машин и механизмов повышение скоростей является необходимым условием повышения их производительности. Возникает необходимость создания для узлов трения, работающих в условиях высоких скоростей скольжения /до 100 м/сек и выше/, при низких и высоких температурах, в вакууме и агрессивных средах. Такими узлами являются торцовые уплотнения вращающихся валов, которые находят широкое применение в различных областях техники благодаря высокой эффективности и преимуществам по сравнению с другими типами уплотнений.

Торцовые уплотнения применяются для широкого спектра насосов, для сельскохозяйственных машин, угольных и проходческих комбайнов, туннелепроходческих комплексов и др. Ежегодно выпускается более 12 млн. уплотнительных колец для торцовых уплотнений и из них треть идет как запасные части.

Материал контактных уплотнений должен отвечать многочисленным и иногда противоречивым требованиям. Он должен быть легко деформируемым, чтобы заполнять микронеровности на поверхности сопряженной детали. В тоже время, он должен быть достаточно прочным и жестким, чтобы уравновесить перепад давления сред в уплотнении; износостойким, чтобы обеспечить необходимый ресурс герметичного подвижного сопряжения. При работе торцовых уплотнений в среде жидких масел используются, стали 45, 95Х18, бронзы. Для торцовых уплотнений тракторов, сельскохозяйственных машин, угольных и проходческих комбайнов, туннелепроходческих комплексов и горных машин применяют, стали ШХ15, Х6Ф1, Х12М, чугуны ИЧ210Х30Г3, ИЧ280Х12М, а также углеграфитовые материалы, керамику, силицированный графит и др.

Целью работы является исследование трибологических характеристик стандартной стали 95Х18 (1) ГОСТ 5632-72 и литой стали (ЛС) 110Х17, дополнительно легированной 1,5% Mn (2), 0,42% Nb (3), 0,3% Nb + 0,42% W (4), 0,34% Nb + 13,2% Cu (5), 0,53% Cu (6). Содержание меди в комплексе Nb + Cu было выше ее растворимости в ЛС, что привело к появлению в структуре ЛС высокомедистых выделений, которые являются твердой смазкой.

Термическая обработка исследуемых сталей - закалка в масло от 1060°С и последующий отпуск при 150–200°С. Твердость сталей в зависимости от дополнительного легирования составила 56–63 HRC. Структура стали (1) представляла мартенсит с остаточным аустенитом и равномерным расположением первичных карбидов типа M_7C_3 в матрице, для сталей (2–4, 6) – мартенстит с остаточным аустенитом и карбидной эвтектикой типа M_7C_3 по граница зерен, для стали (5) – мартенстит с остаточным аустенитом и карбидной эвтектикой типа M_7C_3 по граница зерен, а также выделения высокомедистой фазы расположенной в области карбидной эвтектики.

Испытания образцов на износ в условиях граничного трения (в зону контакта подавали воду) проводили по схеме вал (контртело) – вкладыш (опытный образец) при скорости скольжения 14,65 м/с и удельной нагрузки 2 МПа. Контртело изготавливали из графита марки АО–1500–СО5 ТУ 625–61. Отношение площади образца к площади контртела (коэффициент перекрытия) k ≈ 0,08. Интенсивность изнашивания образцов (Iq) определяли как отношение объема изношенного материала ($см^3$) к пути трения (км).

Трибологические характеристики сталей приведены в таблице

№ п/п	Iq, $см^3$/км, образец/контртело	Коэф. трения
1	$2,2\ 10^{-6}/1,9\ 10^{-3}$	0,028
2	$1,8\ 10^{-6}/1,3\ 10^{-3}$	0,05
3	$0,75\ 10^{-6}/0,93\ 10^{-3}$	0,035
4	$1,9\ 10^{-6}/1,4\ 10^{-3}$	0,02
5	$0,42\ 10^{-6}/1,11\ 10^{-3}$	0,021
6	$1,3\ 10^{-6}/1,0\ 10^{-3}$	0,015

Интенсивность изнашивания ЛС при дополнительном легировании элементами сужающими и расширяющими область существования γ – фазы уменьшается по отношению к стандартной стали 95Х18. Наименьшую интенсивность изнашивания имеет ЛС легированная 0,3% Nb или комплексом (0,34% Nb + 13,2% Cu), при этом интенсивность изнашивания ЛС меньше чем стали 95Х18 в 3 и 5 раз соответственно. В первом случае это достигается за счет уменьшения плотности дислокаций в α- и γ – фазах поверхностного слоя трения ЛС по отношению к исходному состоянию, а во втором случае – за счет минимизации плотности дислокаций и микроискажений II и III, обусловленной плакирующим действием высокомедистых включений расположенных в структуре ЛС.

УДК 621.74.043.1

С. Ю. Пасечник, А. Ю. Пасечник

ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет", Донецк

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК, ИМЕЮЩИХ МАССИВНЫЕ ПОЛОСТИ И ОТВЕРСТИЯ

В статье рассматриваются причины образования трещин при электрошлаковом кокильном литье деталей с массивными полостями и отверстиями. Трудность использования металлических стержней связана с их большой массой и значительными усадочными напряжениями. Применение металлических стержней с подвижными частями для компенсации уменьшения размеров в результате усадки не нашло применения в связи со сложностью конструкции и недолговечностью. Использование керамических стержней невозможно из-за взаимодействия материала стержня со шлаком при совместной заливке металла и синтетического шлака, являющейся технологической особенностью электрошлакового кокильного литья.

Как решение вопроса предлагается замкнутую кольцевую полость разделить перегородкой для устранения торможения усадки. Восстановление конфигурации отливки производится после извлечения последней из кокиля электрошлаковой сваркой, которая не снижает качества отливки.

Также рассмотрены вопросы утилизации легковесных отходов нержавеющей стали Х18Н9Т, вызывающие затруднения при плавлении в дуговой, индукционной печи, связанные с угаром легирующих элементов (хром, титан). Электрошлаковый процесс позволяет получать металл аналогичный по химическому составу исходному не применяя дополнительного легирования.

УДК 621.746.393:669.18 – 412:532.5

И. Н. Примак, А. В. Дудченко,* В. М. Щеглов, Н. И.Тарасевич

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

ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина

УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ СКОРОСТНОЙ ЗАЛИВКЕ КРУПНЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

Непрерывное повышение требований к качеству литья тесно связано также с необходимостью достижения высокой чистоты металла от неметаллических включений (НВ). Анализ современных тенденций развития литейного и металлургического производства позволяет утверждать, что очистка поступающего в форму металла приобретает все более актуальный характер. Безусловно, основной вклад в решение этой проблемы вносят существующие процессы внепечной обработки. Однако, в процессе заливки литейных форм, при использовании разветвленных литниковых систем, даже при применении высококачественных огнеупорных материалов, происходит повторное засорение металла неметаллическими включениями экзогенного происхождения.

При производстве мелкого и среднего литья очистку металла от НВ перед поступлением его в литейную форму можно обеспечить установкой пенокерамических фильтров. При этом, наилучшие результаты были получены при использовании фильтровальных каруселей. Недостатком рафинирующих устройств с применением пенокерамических фильтров является осаждение на стенках каналов НВ, способствующих уменьшению живого сечения каналов, а, значит, и пропускную способность фильтра.

Применение крупных литейных форм из холоднотвердеющих смоляных смесей диктует необходимость скоростной заливки металла из-за опасности разупрочнения поверхности форм и стержней, поэтому регламентированная скорость заливки должна быть обеспечена на протяжении всего времени заливки. Однако скоростная заливка крупных стальных отливок связана с значительным развитием гидродинамических потоков металла как в каналах литниковой системы, так и в полости литейной формы. Поэтому рафинирующие устройства для скоростной заливки крупных стальных отливок должны обеспечить также и минимизацию скорости и турбулентности, поступающих в литейную форму потоков металла.

Специалистами ФТИМС НАН Украины и литейной лаборатории ЗАО «НКМЗ» разработаны некоторые конструкции рафинирующих устройств, позволяющих решать эти проблемы комплексно.

При радиальном расположении питателей рафинирующее устройство состоит из приемной и распределительной камер, разделенных кольцевой перфорированной перегородкой. Устройство позволяет равномерно распределить рафинированный металл по необходимому количеству питателей и обеспечить требуемое снижение скорости металла на входе в литейную форму (патент №93087, 2013 г.). Проблему рафинирования металла и формирования необходимых гидродинамических потоков при скоростной заливке и сифонном подводе металла через систему питателей или один концентрированный питатель приведен в патенте № 87393, 2012 г.

Рафинирующее устройство для скоростной заливки при подаче металла на диафрагму предложено в патенте № 79753, 2012 г.

При создании приведенных типов рафинирующих устройств для скоростной заливки крупных литейных форм применялись методы компьютерного моделирования, повышающие эффективность и достоверность предлагаемых схем и способов.

УДК 621.74

А.А Пуляев, Б.П. Таран,
Национальный технически университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЧУГУННЫХ ПОРШНЕЙ ДВС

Поршень является важнейшей деталью двигателей внутреннего сгорания. На него действуют высокие механические и тепловые нагрузки. В настоящее время созданы поршни определённых типов, из разных материалов и разной формы, предназначенные для применения в двигателях с определённым уровнем нагрузки. При этом для решения вопроса о пригодности конструкции поршня определённого типа используют различные параметры, оценивающие его тепловую и механическую напряженность. В данной работе для определения этих параметров используется компьютерное моделирование, с помощью кото-

рого определяются напряжения и температуры в любой точке рабочего сечения поршня. Эти данные становятся полезными при решении вопроса ускоренного моделирования новых конструкций поршней и адаптации к рабочим условиям.

Целью работы является моделирование процессов, происходящих в двигателях внутреннего сгорания при высоких нагрузках, построение соответствующих графиков и их анализ.

Цикл разработки включает следующие этапы:

1. Построение модели поршня ДВС.
2. Разбитие модели на конечные элементы.
3. Эксплуатационное испытание опытного образца.
4. Оценка результатов эксплуатационных испытаний.
5. Изменение конструкции на основании результатов эксплуатационных испытаний.

Разработка 3D–модели и её анализ производились в программе SolidWorks.

На рисунке 1 показано поле распределения температур при работе двигателя. Максимальные температуры в поршне сосредоточены в стенках камеры сгорания и достигают 350 ^{o}C. Зона минимальных температур сосредоточена в районе пальцевого отверстия. Такое распределение температур обусловлено в камере сгорания сжиганием топлива и в зоне минимальных температур связано с небольшой теплопроводностью чугуна.

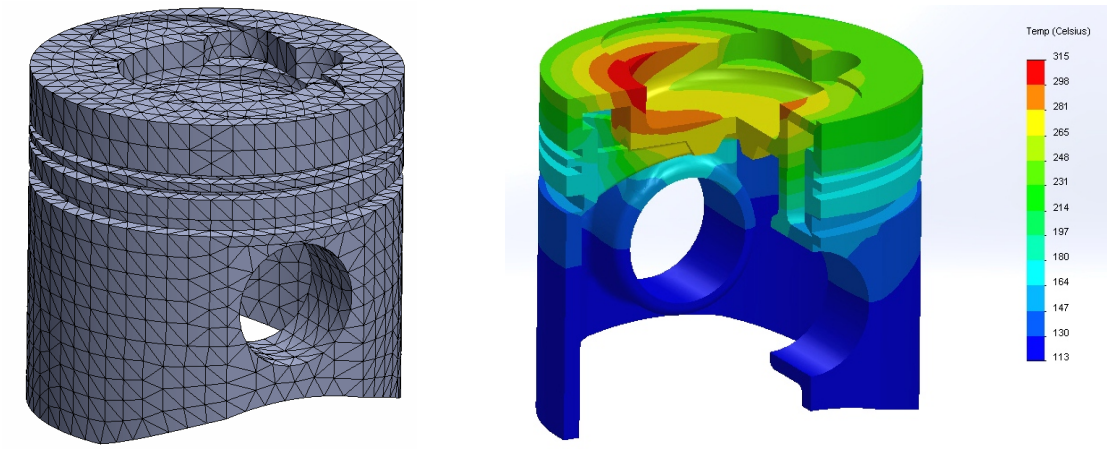


Рисунок 1. Конструкция поршня и график распределения температур

На рисунке 2 показаны результаты исследования напряжённо-деформированного состояния поршня. По этим данным можно определить запас прочности в любой точке сечения.

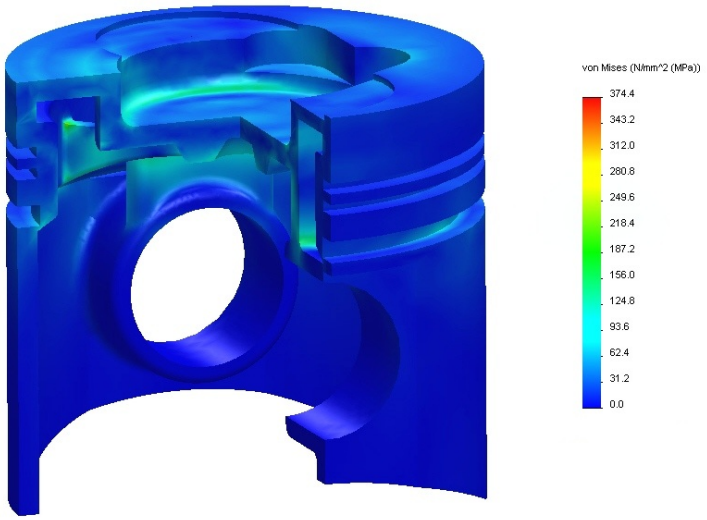


Рисунок 2. График НДС поршня

С помощью подобной работы можно выполнить следующие задачи:

- Уменьшить стоимость модели за счет проведении ее испытания на компьютере вместо дорогостоящих эксплуатационных испытаний.
- Сократить время, необходимое для представления продуктов на рынок, путем уменьшения количества циклов разработки изделия.
- Улучшить изделия посредством быстрой проверки сразу большого количества концепций и сценариев перед принятием окончательного решения, тем самым предоставляя вам дополнительное время на обдумывание новых конструкций.

УДК 621.745.55

К.С. Радченко, М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ПАРАМЕТРИЧНІ ДІАГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОКАЛИНОСТІЙКОСТІ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ

У багатьох випадках під час виробництва литих деталей із жаростійких, жароміцних, корозійностійких і зносостійких сплавів виникає необхідність через процеси додаткового легування, мікролегування або модифікування покращити хоча б окремі їх властивості. Проте через брак як теоретичної, так і практичної інформації з цих питань немає можливості в умовах виробництва використову-

вати на високому рівні ці корисні процеси, а тому такі технології не відзначаються стабільністю і потребують постійного удосконалення.

У роботі розглянуто питання щодо впливу хімічного складу хромоалюмінієвих сталей на їх основну експлуатаційну характеристику – окалиностійкість.

Найперспективнішим матеріалом для виготовлення жаростійких виливків масового використання є хромоалюмінієві сталі, які набагато дешевше хромонікелевих і мають високу окалиностійкість. Широкому застосуванню цих сплавів у промисловості перешкоджають гірші, в порівнянні із хромонікелевими сталями, механічні властивості при кімнатних і високих температурах, технологічність і деякі інші властивості.

Дослідженнями установлено, що алюміній істотніше підвищує жаростійкість сталі в порівнянні з хромом. Це пояснюється тим, що висока швидкість дифузії алюмінію у фериті й мала іонна провідність оксидного шару Al2O3 сприяють значному зниженню швидкості окалиноутворення. На поверхні металу формується захисна плівка з оксидів хрому й алюмінію типу шпінелі. Процентне співвідношення Al_2O_3 й Cr_2O_3 в шпінелі визначається концентрацією в сталі цих елементів і температурою окиснення.

Для виготовлення литих деталей, які працюють в умовах високих температур та агресивних середовищ слід використовувати хромисті або хромоалюмінієві сталі після підвищення їх властивостей мікролегуванням і модифікуванням.

Взагалі оцінку жаростійкості матеріалу визначають через кінетичні залежності при декількох температурах та проводять досліди при чотирьох температурах, що дає достатньо надійну та наочну характеристику матеріалу за звичайних методів оцінки його жаростійкості, проте загальний обсяг досліджень буде дуже великий.

Суттєвою перевагою параметричної діаграми є те, що однією лінією на ній відображено уся безліч результатів випробовувань металів на окалиностійкість за умов різних температур і при різній тривалості випробовувань. За допомогою параметричних діаграм можна визначити збільшення маси або глибину корозії при будь-яких заданих значеннях температури та часу експлуатації металу.

Досліджено сталі хімічного складу, %: C = 0,35…0,42; Si = 0,36…0,66; Mn = 0,32…0,56; S = 0,017…0,022; P = 0,014…0,025.

Для вирішення поставленого завдання досліджено залежність властивостей хромоалюмінієвої сталі від її хімічного складу за основними компонентами.

Використовуючи параметричний метод визначення жаростійкості побудована параметрична діаграма жаростійкості, за якою підтвердилися як теоретичні розрахунки, так і результати експлуатації.

Побудована параметрична діаграма жаростійкості дала можливість спрогнозувати період безперервної роботи виробів із експериментальної хромоалюмінієвої сталі до досягнення критичної глибини корозії. Але враховуючи те, що жаростійкі деталі протягом всього терміну експлуатації не працюють безперервно за максимальної температури, то в цьому випадку досягається 15% запас у часі експлуатації.

Метод прискорених випробувань особливо корисний для порівнювання досліджень великої кількості хімічних складів досліджуваних сплавів. У цьому випадку використання параметричних діаграм дає можливість здійснити достатньо повне порівняння їх жаростійкості (а не при окремих температурах або витримках) та зробити на основі такого порівняння більш точний вибір оптимального складу сплаву, який має найвищу жаростійкість.

УДК 665.9

А.В. Редькина, **О.В. Акимов**, **О.А.Чибичик**
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ РОТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Конструкторско-технологическое проектирование деталей и узлов энергетического оборудования не всегда является надежной гарантией обеспечения эксплуатационных свойств в реальных условиях. Причиной этого являются технологические ограничения, а зачастую и полная невозможность выполнения заложенных конструкторами требований к деталям. Такие ограничения связаны, в первую очередь, с недостаточно высоким уровнем развития технологий изготовления деталей машин, особенно, если предполагается использование технологий литейного производства.

Принципиальным является то обстоятельство, что учет технологических возможностей производства является обязательным условием при освоении

новых изделий или модернизации существующих. В контексте этого интересны работы, посвященные проблемам увязок в конструкторско-технологической подготовке производства для деталей энергетических установок [1 – 2]. Одной из технологических операций при изготовлении ротора является заливка пазов предварительно нагретого сердечника ротора расплавленным алюминием, выполняемая в кокиле. От качества выполнения этой технологической операции в значительной степени зависят эксплуатационные показатели привода, однако обеспечение высокого качества как раз и является серьёзной проблемой, подлежащей всестороннему исследованию.

Актуальными представляются исследования, определяющие технологические режимы литья, которые сводили бы к минимуму расхождение в фактических и закладываемых конструкторами на этапе проектирования эксплуатационных характеристик энергетического оборудования.

Заливка короткозамкнутых роторов производится почти всеми известными в технике литейного производства способами, но, к сожалению, ни одна технологий не гарантирует отсутствие внутренних дефектов в пазах ротора. Наиболее приемлемой является технология вибрации формы при заливке.

Однако, в любом случае, существует проблема, связанная с качеством заполнения расплавом алюминия пазов и формирования «беличьей клетки». И что бы решить эту проблему, надо исследовать процессы фильтрационного питания как основы качественного заполнения пазов ротора.

Усадочные дефекты и пористость отливок из алюминия, заливаемого в кокиль, образуются, как правило, на конечном этапе затвердевания отливки. С точки зрения борьбы с этими дефектами наиболее актуальным является исследование процесса фильтрационного питания. Среди факторов, влияющих на фильтрационное питание затвердевающего в пазах ротора алюминия, основными являются: скорость кристаллизации, коэффициент усадки, ликвационные явления, наличие неметаллических включений в расплаве, температура заливки, газовыделение из расплава. Выделение газов из металла внутри двухфазной области затвердевающей отливки препятствует ее фильтрационному питанию. Борьба с этим явлением, характерным в первую очередь для алюминиевых сплавов, ведется различными способами.

Существенными факторами, влияющими на формирование внутренней пористости по причине некачественного фильтрационного питания, являются

температура металла перед началом разливки, длительность заливки кокиля и время вибрации кокиля.

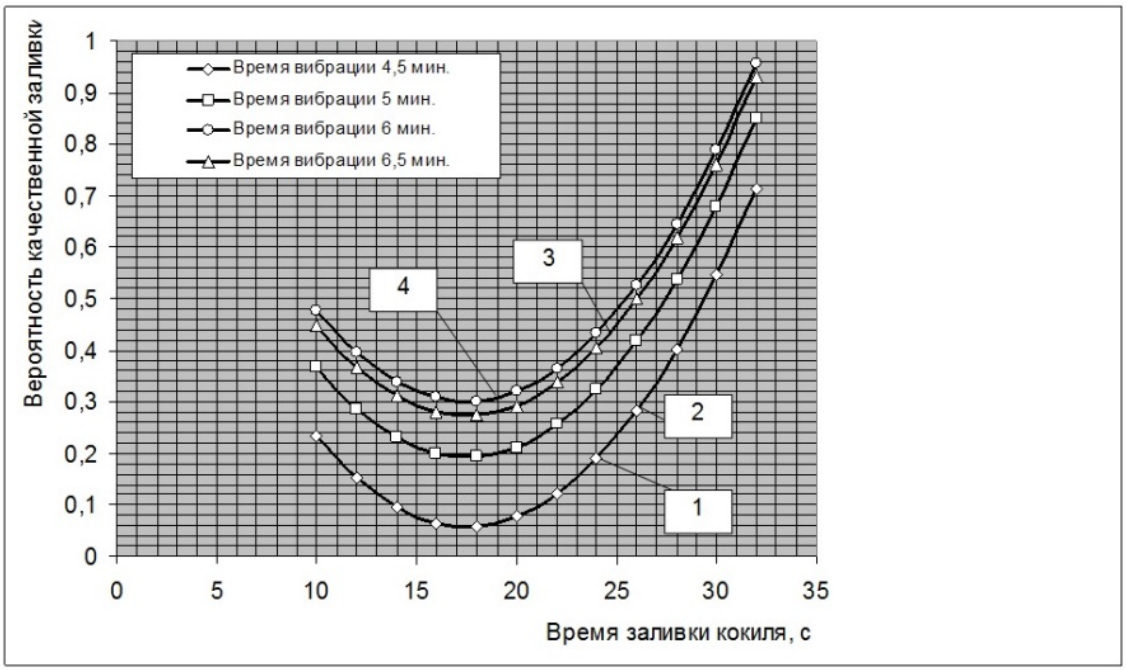


Рис.1 - Графика технологических параметров в оптимальной области при оптимальной температуре расплава 790^{o}C

В ходе проведенных исследований были определены оптимальные параметры заливки: температура металла 790^{o}C, время заливки от 10 до 30 с при времени вибрации 6 мин.

Список литературы:

1. *Акимов, О. В.* Проблемы обеспечения качества отливок малоразмерных колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС. (Часть 1. Рабочие характеристики.) / О. В. Акимов, В. А. Петросянц, В. А. Солошенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып.30. – с.48-51

2. *Акимов, О. В.* Проблемы обеспечения качества отливок малоразмерных колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС. (Часть 2. Прочностные характеристики.) / О. В. Акимов, В. А. Петросянц, В. А. Солошенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып.46. – с.46-50

УДК 621.74.045

С.И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ

Согласно современным представлениям, основной движущей силой процесса кристаллизации является термодинамический фактор – стремление вещества к наиболее устойчивому в термодинамическом отношении, состоянию, которое характеризуется наименьшим уровнем свободной энергии. Внутренняя энергия расплава всегда выше энергии твердого тела. Поэтому при кристаллизации расплава выделяется тепловая энергия – разница в энергетическом состоянии жидкого (расплава) и твёрдого тела. Исходя из этого, температура начала кристаллизации расплава будет соответствовать состоянию термодинамической системы, при котором энергии Гиббса (свободные энергии) твердой ($G_Т$) и жидкой ($G_Ж$) фаз будут равны между собой. Энергию Гиббса вычисляют по формуле:

$$G = E – T·S + pV = H – T·S, \quad (1)$$

где E – внутренняя энергия фазы; p – давление, оказываемое на рассматриваемую термодинамическую систему извне; V – объём фазы; T –температура рассматриваемой термодинамической системы; S – энтропия (мера разупорядоченности фазы, мера рассеянной энергии); H – энтальпия.

Исходя из (1), а также квазиполикристаллического строения жидкости, для превращения кластера в центр кристаллизации (ЦК) необходимо:

вариант 1 – понизить температуру расплава ниже температуры его равновесной кристаллизации, что собственно и происходит при получении всех промышленно производимых литых изделий;

вариант 2 – при неизменной температуре перегрева сжать расплав, что также подтверждено как экспериментальными данными, так и законом Клайперона-Клаузиуса.

По варианту 1, кластер превращается в ЦК по достижении определённого размера, который называют критическим радиусом кластера и рассчитывают по известной формуле:

$$r_K = \frac{2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{ПЛ}}}{\Delta H_{ПЛ}^{1} \cdot \Delta T}, \quad (2)$$

где σ – удельная поверхностная энергия на границе кристалл - расплав; $T_{ПЛ}$ – температура плавления (равновесная температура кристаллизации) вещества; $\Delta H_{ПЛ}$[1] – удельная теплота плавления (кристаллизации) вещества; ΔT – температура переохлаждения расплава при которой начинается его кристаллизация.

В соответствии с (2), величина $r_К$ тем меньше, чем больше значение ΔT. Следует отметить, что использование формулы (2) имеет ряд ограничений применения, поскольку при $\Delta T = 0$ она теряет математический смысл, при $\Delta T \to 0$ величина $r_К \to \infty$, а при $\Delta T \to \infty$ величина $r_К \to 0$, что лишено физического смысла. Поэтому, формулу (2) недопустимо использовать для анализа зависимости $r_К = f(\Delta T)$ и следует использовать только для расчёта величины минимального переохлаждения расплава, при которой начнётся его затвердевание. Для этого формулу (2) следует записать в виде:

$$\Delta T_{MIN} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot T_{ПЛ} \cdot M}{\Delta H_{ПЛ} \cdot r_К}, \qquad (3)$$

где M – молекулярная масса вещества, кг/моль; $\Delta H_{ПЛ}$ – мольная теплота плавления (кристаллизации) вещества.

При этом, по-видимому, радиусы кластеров при кристаллизации ($r_К$) и при плавлении металла должны быть равными.

Исходные данные и минимальные значения величин переохлаждения некоторых веществ, рассчитанные по формуле (3), приведены в таблице.

Элемент	$\sigma\cdot10^7$, Дж/см^2	$T_{ПЛ}$, К	$\Delta H_{ПЛ}$, Дж/моль	M, кг/моль	$r_К\cdot10^8$, см	ΔT_{MIN}, К	Элемент	$\sigma\cdot10^7$, Дж/см^2	$T_{ПЛ}$, К	$\Delta H_{ПЛ}$, Дж/моль	M, кг/моль	$r_К\cdot10^8$, см	ΔT_{MIN}, К
Al	93	933	11300	0,02698	1,56	2,7	**Be**	178	1551	12210	0,00901	1,50	2,7
Fe	201	1812	15470	0,05585	1,61	16,3	**Ga**	56	303	5590	0,06972	1,38	3,1
Ni	255	1725	16900	0,05869	1,73	17,7	**Zn**	101	693	6650	0,06539	1,59	8,7
Co	200	1768	15700	0,05893	1,34	19,8	**Na**	20	371	2640	0,02299	1,67	0,8
Pb	33	600	4810	0,20730	2,54	6,7	**In**	26	429	3240	0,11482	2,04	3,9
Sn	59	505	7070	0,11871	1,99	5,0	**Hg**	28	234	2295	0,20059	1,87	6,1
Ag	126	1235	11950	0,10787	1,56	18,0	**Bi**	54	544	11300	0,20898	2,01	5,4
Au	139	1337	12200	0,19697	1,91	31,4	**Sb**	101	904	20080	0,12176	1,13	9,8
Pd	209	1827	17570	0,10642	1,89	24,5	**Ge**	181	1210	36800	0,07261	2,39	3,6
Cu	142	1356	13050	0,06355	1,48	12,7	**Si**	570	1688	50400	0,02809	0,74	14,5

Из изложенного следует, что образование ЦК по варианту 1 проходит при строго определённой величине радиуса кластера и не зависит от глубины переохлаждения расплава:

$$r_K = \text{const}, \qquad r_K \neq f(\Delta T).$$

В этом случае, если между скоростью охлаждения расплава и скоростью роста кластеров возникнет диспропорция в пользу скорости охлаждения, то к моменту охлаждения расплава до температуры равновесной кристаллизации ($T_{КР} = T_{ПЛ}$), ни один из кластеров не увеличиться до размера r_K и расплав будет переохлаждаться. То есть, если при $T_{КР}$ величина $r < r_K$, то при дальнейшем охлаждении температура расплава будет понижаться ниже температуры $T_{КР}$ такое время, за которое радиус кластера увеличится до значения r_K. Величину переохлаждения расплава в этом случае можно рассчитать по формуле:

$$\Delta T = W \cdot \tau_P, \qquad (4)$$

где W – скорость снижения температуры переохлаждённого расплава, К/с; τ_P – время достижения кластером критического размера в переохлаждённом расплаве (в интервале температур от $T_{КР}$ до $T_{КР} - \Delta T$), с.

Время τ_P зависит, как от вязкости переохлаждённой жидкости, так и от размера кластеров (r), которые они имели к моменту достижения расплавом температуры $T_{КР}$. Если при охлаждении расплав достиг температуры $T_{КР}$ и $r = r_K$, то его кристаллизация начнётся при температуре $T_{КР}$. Если металлическая жидкость охлаждается со скоростью $W \to \infty$, либо её вязкость будет столь велика, что $\tau_P \to \infty$, то, в соответствии с (4) металл вместо кристаллической структуры приобретёт структуру аморфную, поскольку в этих случаях $\Delta T \to \infty$.

УДК 621.74.045

С.И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РАЗМЕРЫ КЛАСТЕРОВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Рассматривая процесс плавления металлов с позиций волновой теории и на основе квазиполикристаллической модели строения металлической жидкости, предположили, что кластеры образуются в предплавильный период без образования активированных атомов, а размеры кластеров соответствуют размерам

тепловых (акустических) фононов. Активированные атомы (разупорядоченная зона) появляются при температуре, превышающей температуру плавления металла, когда подводимая к металлу (расплаву) тепловая энергия приводит к повышению его температуры. То есть, кластер при температуре плавления – это по сути “материализованный” фонон. Исходя из этого, радиус кластеров при $T_{ПЛ}$ рассчитывали по формуле, м:

$$r_{КЛ} = 1{,}2 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{w}{\Theta}, \quad (1)$$

где $1{,}2 \cdot 10^{-10}$ – коэффициент, с·К; w – скорость распространения звука в твёрдом веществе при температуре $T_{ПЛ}$, м/с; Θ – температура Дебая, К.

В условиях динамического равновесия кластеры в расплаве существуют бесконечно долго. При этом, имея различный уровень энергетического состояния, при нагреве, в первую очередь, в разупорядоченную область металлической жидкости переходят атомы с наиболее высоким уровнем энергии. В то же время “ядро” кластеров составляют атомы, с наиболее низким энергетическим уровнем.

Для перехода из кластера в разупорядоченную зону таким атомам необходимо приобрести дополнительную энергию, которую они получают при дальнейшем нагреве расплава. Соответственно, при понижении температуры, “низкоэнергетические” атомы, теряя кинетическую энергию, являются центрами формирующихся или уже существующих кластеров, первыми встраиваются в тела растущих кластеров, образующихся кристаллических зародышей и растущих кристаллов. Предполагаемая “энергетическая” последовательность атомарного построения кластера, возможно, является причиной того, что с понижением температуры скорость его роста становится зависимой не только от температуры, но и от вязкости жидкости, и от коэффициента самодиффузии.

УДК 621.74.045

С.И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

О СТРУКТУРЕ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

По результатам экспериментальных исследований, проведенных различными авторами, установлено, что зависимость удельной плотности жидких металлов при атмосферном давлении от температуры в определённом температурном интервале может быть описана линейной зависимостью вида:

$$\rho_T = \rho_{TЖ} - J \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где ρ_T, $\rho_{TЖ}$ – удельная плотность металла при температуре Т и твёрдого металла при температуре его плавления соответственно, кг/м^3; J – изменение удельной плотности жидкого металла при изменении его температуры на 1 градус, кг/(м^3·град); ΔТ – величина перегрева металлической жидкости над температурой плавления металла, град.

Если допустить, что, находясь в составе кластера, атом занимает объём V_K, а активированный атом в разупорядоченной области – объём V_A, то объём моля металлической жидкости при температуре Т можно рассчитать по формуле:

$$V_T = n \cdot V_K + (N_A - n) \cdot V_A, \quad (2)$$

где n – число атомов в кластере при температуре Т, шт; N_A – число Авогадро ($N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$ шт) или по формуле:

$$V_T = \frac{M}{\rho_{TЖ} - J \cdot \Delta T} \quad (3)$$

где М – молекулярная масса металла, кг.

В этом случае, объём V_K можно рассчитать по формуле:

$$V_K = \frac{M}{N_A \cdot \rho_{TЖ}}, \quad (4)$$

Приравняв (2) к (3), разделив обе части полученного тождества на число Авогадро, получаем:

$$\varphi \cdot V_K + (1 - \varphi) \cdot V_A = \frac{M}{(\rho_{TЖ} - J \cdot \Delta T) \cdot N_A}, \quad (5)$$

где φ – доля атомов в составе кластеров.

Решая (5) относительно φ, получаем:

$$\varphi = \frac{1}{V_A - V_K}\left[V_A - \frac{M}{(\rho_{TЖ} - J \cdot \Delta T) \cdot N_A}\right]. \quad (6)$$

Если принять V_A и V_K постоянными величинами, не зависящими от температуры в описываемом температурном интервале, то можно предположить, что:

$$\frac{V_A}{V_K} = \frac{\rho_{TЖ}}{\rho_{ЖТ}}, \quad (7)$$

где $\rho_{ЖТ}$ – удельная плотность жидкого металла при температуре его плавления, кг/м^3.

Из (7) находим:

$$V_A = V_K \cdot \frac{\rho_{TЖ}}{\rho_{ЖТ}}. \quad (8)$$

С учётом (4) и (8), формула (6) будет иметь следующий вид:

$$\varphi = \frac{1}{\rho_{TЖ} - \rho_{ЖТ}}\left[\rho_{TЖ} - \frac{\rho_{ЖТ} \cdot \rho_{TЖ}}{(\rho_{TЖ} - J \cdot \Delta T)}\right]. \quad (9)$$

Исходные данные и результаты расчёта величины ΔT_P для некоторых металлов приведены в таблице.

Параметр	Величина															
	Fe	**Ni**	**Co**	**Cr**	**Mn**	**Mo**	**W**	**Ti**	**Cu**	**Sn**	**Zn**	**Pb**	**Au**	**Ag**	**Mg**	**Al**
$\rho_{TЖ}$, кг/м^3	7265	8141	8080	6676	6366	9390	17510	4252	8500	7144	6951	10982	18270	9705	1666	2535
$\rho_{ЖТ}$, кг/м^3	7035	7790	7750	6307	6080	8900	16740	4120	8030	6970	6570	10680	17350	9350	1584	2380
J, кг/(м^3·град)	0,730	1,159	0,988	0,723	0,930	0,71	0,54	0,226	0,944	0,637	0,950	1,173	1,000	0,907	0,265	0,270
ΔT, град	314	304	332	510	308	704	1426	584	498	272	40	258	920	392	310	574
ΔT_P = 0,5·ΔT, град	157	152	166	255	154	352	713	292	244	136	200	129	460	196	155	287

Зависимость доли атомов в кластерах от величины перегрева расплава над температурой плавления, рассчитанная для меди по формуле (9) представлена на рисунке.

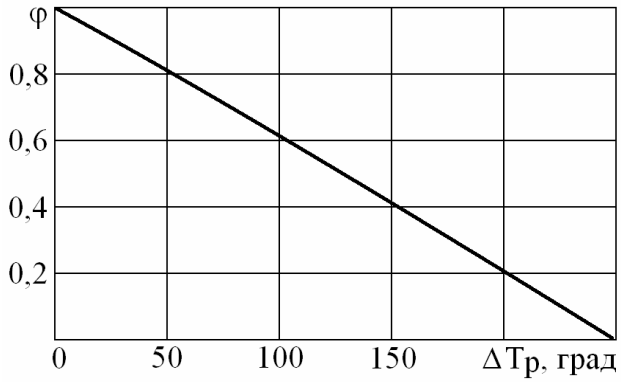


Рис. – Расчётная зависимость доли атомов, находящихся в составе кластеров, от температуры перегрева расплава меди

Анализ вида зависимости на рисунке показывает, что с увеличением температуры перегрева доля атомов в кластерах понижается, практически, по линейной зависимости и при определённой температуре становится равной нулю. По-видимому, температура перегрева, при которой $\varphi = 0$ и есть минимальная величина для каждого конкретного металла или сплава на его основе, при которой следует проводить термовременную обработку (ТВО) расплава с целью изменения структуры литого изделия.

УДК621.74.011

А. А. Рудницкий, О.В. Соценко, А. В. Малый*

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

* НПФ «Парами», Запорожье

ЛИТНИКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОЛОСНИКОВ ОБЖИГОВЫХ И АГЛОМЕРАЦИОННЫХ МАШИН

В настоящее время колосники для агломерационных и обжиговых машин отливают в разовых литейных формах из высокохромистых и хромоникелевых сталей. Учитывая сложность отрезки прибылей из таких марок сталей, в литейной технологии используют отводные прибыли. Питатели литниковых систем оказывают большое влияние на качество отливок. Они являются связующим звеном между отливкой и прибылью, и должны обеспечивать поступление рас-

плава стали из прибыли для компенсации объемной усадки при снятии теплоты перегрева и затвердевании отливок (рис. 1, *а*).

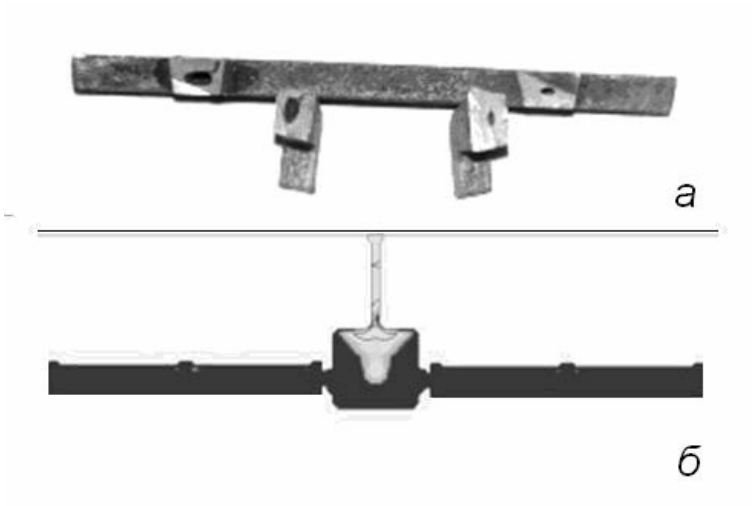


Рис. 1. Осевые усадочные раковины в колоснике, изготовленном по существующей технологии (а), и концентрированная усадочная раковина в компьютерной модели колосника (б)

Для устранения недостатков существующей технологии литья колосников было проведено экспериментальное исследование температурного поля отливки колосника при затвердевании и охлаждении в литейной форме. Этот же процесс моделировали при помощи программы LVMFlow. Полученные при моделировании температурные поля были идентичны температурным полям, полученным экспериментально, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов эксперимента и моделирования теплового поля. Это дает основания считать данные, полученные при моделировании процессов с помощью программы LVMFlow, пригодными для усовершенствования технологии.

По температурным полям, полученным экспериментально, можно сделать вывод, что питатель перемерзает раньше, чем заканчивается затвердевание самого колосника. Следовательно, причиной появления усадочной осевой раковины в колоснике является недостаточное питание отливки из-за перемерзания питателя (см. рис. 1, а).

При помощи программы LVMFlow был смоделирован ряд процессов с питателями, имеющими различные геометрические параметры. Ширину питателя варьировали в пределах от 5 до 25 мм с шагом 5 мм, а высоту в пределах от 15 до 25 мм с шагом 5 мм. Лучшие результаты по обеспечению питания усадки отливки были получены при использовании питателя пирамидального сечения с размерами оснований 15 х 30 мм, 15 х 25 мм и высотой 30 мм. При такой кон-

фигурации питателя была повторно получена диаграмма изменения температуры с течением времени для колосника, прибыли и питателя (рис. 2).

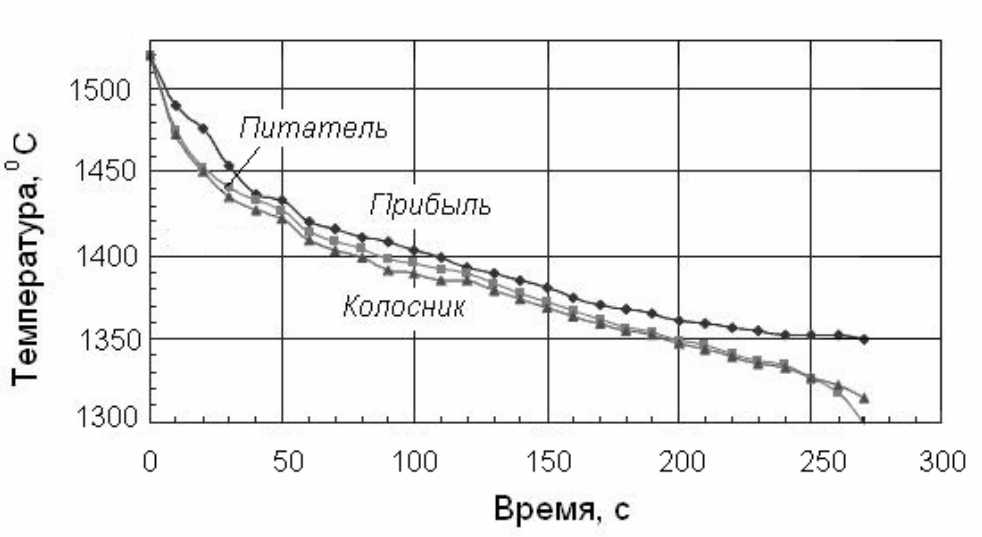


Рис. 2 - Изменение температуры в прибыли, питателе и отливке после усовершенствования ЛПС

При такой форме и размерах питатель не перемерзает до окончания затвердевания колосника. Колосник, отлитый с усовершенствованной ЛПС, не имеет пористости (рис. 1, б). Кроме того, данная конфигурация питателя позволяет легко отделять ЛПС от отливки.

Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование температурного поля отливки колосника при затвердевании и охлаждении показало хорошую сходимость экспериментальных и расчетных данных. Это позволило разработать технологический процесс, обеспечивающий получение качественных отливок без дополнительных проблем с отделением литников.

УДК 551.15.23.19.13

А. А. Рудницкий, О. В. Соценко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЛИТЬЕ КОЛОСНИКОВ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ В КОКИЛЬ

Колосники агломерационных машин обычно отливают в песчано-глинистые формы из литейных высокохромистых сталей, так как они обладают высокими антикоррозионными свойствами при повышенных температурах. Известно, что

необходимым уровнем жаростойкости при максимальной температуре спекания на агломерационной машине (1050°С) обладает сталь с ледебуритной структурой содержащая 1,0 -1,2% углерода и 25 - 30% хрома. Такому содержанию основных элементов соответствует сталь марки 75Х28Н2СЛ. Данная марка стали наиболее широко используется для изготовления колосников агломерационных машин. При литье в кокиль мелких отливок из этой стали можно ожидать увеличение уровня их физико-механических и эксплуатационных свойств.

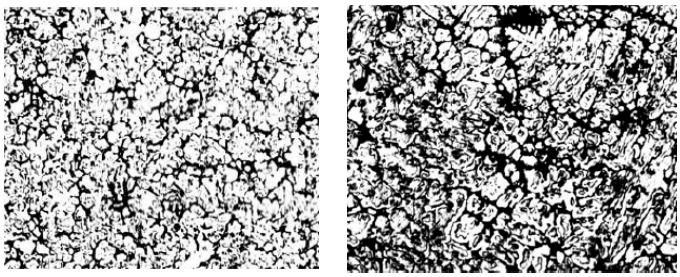
В работе проведено компьютерное моделирование и исследование элементов технологического процесса литья колосников из стали 75Х28Н2СЛ в кокиль. Конструктивно был выбран кокиль с вертикальным разъемом, что обеспечивает простоту литниковой системы и возможность отвода газов через разъем формы. Материал кокиля выбирали исходя из предварительных расчетов напряжений, возникающих в стенке кокиля.

Данные, полученные в результате моделирования затвердевания отливки колосника при помощи программы LVM Flow, показывают, что напряжения возрастают с увеличением перепада температуры в стенке кокиля практически линейно. С ростом начальной температуры кокиля снижается перепад температуры в его стенке и, следовательно, снижается уровень напряжений. Поэтому перед заливкой необходимо нагреть кокиль до температуры 100 - 120 °С. Проведенные расчеты показали, что с учетом предварительного нагрева в качестве материала кокиля возможно использование серого чугуна марки СЧ 20 ГОСТ 1412-85.

При разработке конструкции кокиля, учитывая быстрое охлаждение расплава в контакте с металлической формой, была принята короткая литниковая система. Площадь поперечного сечения питателя увеличили на 25% по сравнению с соответствующей площадью поперечного сечения питателя для песчано-глинистой формы.

При выборе технологических параметров литья с помощь программы LVM Flow рассчитывали время заливки и затвердевания отливки в форме. Были заданны следующие параметры расчета: начальная температура кокиля 100 -120 °С, толщина покрытия кокиля 0,1 -1 мм, плотность покрытия 1600 -1700 кг/м^3, толщина стенки кокиля 15 мм, выбивка отливки из кокиля через 5 -10 секунд после заливки. Перед заливкой кокильную форму нагревали до 100 -120 °С и наносили на ее рабочую поверхность покрытие 5000 А (P08ECO) толщиной 0,1 - 1,0 мм.

Как показал опыт, интервал между окончанием заливки и раскрытием кокиля должен быть 8 -10 секунд. При этом температура на поверхности колосника составляет около 1200 °С, а толщина слоя затвердевшего металла составляет около 10 мм и он находится в пластическом состоянии. Следовательно торможение усадки не вызывает напряжений, которые могут стать причиной образования высоких остаточных напряжений, а так же исключает защемление отливки кокилем. Колосники, отлитые в кокиль, в среднем имеют массу на 0,09 кг больше, чем масса колосников той же модели, отлитых в разовую литейную форму.



а *б*

Рис. 1 – Микроструктура колосников из стали 75Х28Н2СЛ, отлитых в кокиль (*а*) и в разовую песчано-глинистую форму (*б*), х100

Установлено, что колосники имеют феррито-ледебуритную структуру с равномерным распределением эвтектической фазы - ледебурита. Материал колосников, отлитых в кокиль, имеет более мелкодисперсную микроструктуру, чем материал колосников, отлитых в разовую песчано-глинистую форму (рис. 1).

Доказано, что литье колосников в кокиль позволяет увеличить относительную плотность металла в отливке до 94 - 96 % по сравнению с 89 % для отливок, полученных в песчано-глинистой форме, и за счет повышения плотности материала отливки заметно повысить уровень ее механических и эксплуатационных свойств.

УДК 621.744

А. В. Саенко, О.И. Пономаренко, Т.В. Берлизєва, А.А. Радченко

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков

Харьковский тракторный завод им. Орджоникидзе

О РОЛИ БЕНТОНИТА И КРАХМАЛИТА В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЯХ

Производство деталей и изделий литьем - самый простой и экономичный способ. Для приготовления формовочных смесей в литейной промышленности применяют различные материалы, но основными являются наполнители и связующие. Наполнитель образует структурный каркас формовочной смеси, связующее - обволакивает зерна наполнителя и создает связи между ними.

Для сырых песчано-глинистях форм экономически наиболее эффективным связующим и термопротекторным материалом является бентонит. В СССР общий объем использования бентонита в 1960 г. составлял всего около 1000 т. и он использовался главным образом для противопригарных покрытий, но уже в 1982 г. его потребление в литейном производстве превысило 370 тыс. т.

В странах СНГ для нужд литейного произвосдства в настоящее время потребляется около 15% всего используемого в них бентонита, тогда как в Европе этот показатель составляет более 50%. Основная часть бентонита у нас находит применение в нефтегазодобывающей промышленности и черной металлургии (изготовление железорудных окатышей), что отражает сырьевую специализацию производства постсоветских стран и низкий уровень развития машиностроения в них.

Несмотря на тенденцию к распространению химически твердеющих смесей для изготовления форм, обеспечивающих повышение размерной точности и качества отливок, сырая песчано-бентонитовая форма имеет широкую область применения. В массовом производстве деталей весом от нескольких до сотен килограммов и при производительности несколько сот форм за смену (автомобильное литье) сырая песчано-бентонитовая форма остается вне конкуренции.

К преимуществам сырых песчано-бентонитовых смесей относятся:

- высокая производительность формовочных линий при работе на песчано-бентонитовых смесях;
- легкая выбиваемость отливок из формы;

- содержания глинистой составляющей, необходимой для получения заданной прочности смесей, в 2-2,5 раза ниже по сравнению с содержанием огнеупорной глины, что обеспечивает большую газопроницаемость и огнеупорность формы;
- повышение стойкости формы против образования ужимин;
- повышение чистоты поверхности и размерной точности отливок;
- повышение текучести смеси и, как следствие, снижение затрат энергии на уплотнение.

При производстве мелких и средних отливок применяют комплексные добавки, содержащие компоненты, улучшающие противопригарные, связующие, пластические, технологические свойства смесей. Такими компонентами могут быть молотые угли, крахмалит, кальцинированная сода, поверхностно-активные вещества. Комплексная добавка обычно содержит необходимое количество бентонита. Крахмалит дают для улучшения пластических свойств смеси и как противоужиминную добавку. Он повышает прочность формы в зоне конденсации влаги и поверхностную прочность (снижает осыпаемость). Крахмалит вводят обычно в смесители, и он, как и бентонит, проявляет свои пластические свойства только после увлажнения и набухания. Этот процесс может занять несколько оборотов смеси, и важно не превысить общее содержание крахмалита: содержание его в смеси должно поддерживаться до 0,6 – 1,0 %. Поэтому есть смысл давать его вместе с бентонитом на стадии подготовки отработанной смеси. Инертная мелочь и пыль могут содержаться в смеси в пределах до 15 %: чем ниже степень их чистоты, тем больше общее содержание.

Таким образом ввод бентонита и крахмалита является єффективнім средством для получения качественніх песчано-глинистіх смесей, что позволяет существенно повісить качество оливки.

УДК 621.74:658.2

Т. В. Семенова
НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ,
ДНЕПРОПЕТРОВСК

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ

Производственный потенциал – это совокупность ресурсов промышленного предприятия и их способность в ходе производственного процесса трансформироваться в определенные результаты, направленные на достижение поставленных экономических целей.

Диагностика потенциала предприятия проводится методом сравнительной комплексной рейтинговой оценки по 4 блокам: «Производство, распределение и сбыт продукции», «Организационная структура и менеджмент», «Маркетинг» и «Финансы». В каждый блок входят несколько показателей, с помощью которых и происходит оценка потенциала. В основу расчета конечной рейтинговой оценки ложится сравнение показателей нашего предприятия по каждому из этих четырех блоков с другими предприятиями отрасли.

По первому блоку - «Производство, распределение и сбыт продукции», который и представляет собой производственный потенциал, - необходимо проанализировать: объем, структуру и темпы производства литья, фонды производства, имеющийся парк оборудования и уровень его использования, местонахождение производства и наличие инфраструктуры, экологии производства, состояние продаж готовой продукции.

Элементы производственного потенциала находятся не только в тесном взаимодействии – в определенной мере они взаимозаменяемы.

Все формы взаимозаменяемости элементов производственного потенциала должны рассматриваться, главным образом, как его важнейшая экономическая характеристика. Данный подход позволяет в конечном итоге обеспечить сбережение производственных ресурсов в результате использования нового оборудования, передовых технологий, новых методов организации управления производством.

Диагностика производственного потенциала предприятия базируется на трех составляющих: оценке факторов, влияющих на производственный потенциал предприятия; выделении наиболее значимых объектов оценки; разработ-

ке специальной методики оценки показателей, характеризующих производственный потенциал предприятия.

В трудах известных ученых не обнаружено окончательного мнения по оценке производственного потенциала, кроме того непонятно, в каких именно единицах измерения их измерять. Наиболее наглядной и информативной в настоящее время большинство ученых считают графоаналитическую модель «Квадрат потенциалов». Исследование проводится с применением графических методов и метода сравнительной комплексной рейтинговой оценки. На основе данной методики может быть проведена оценка производственного потенциала литейного цеха или предприятия. Графическая модель в данном случае имеет форму многоугольника.

Сравнение показателей эффективности использования производственного потенциала конкретного литейного цеха или предприятия осуществляется по каждому показателю из приведенных выше с условным гипотетическим предприятием А. Показатели условного предприятия рассчитываются исходя из лучших из показателей ряда литейных цехов Украины.

На основе данной методики была проведена оценка ресурсного потенциала ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков». Кроме того, в условиях неопределенности и неоднозначности выявления составляющих производственного потенциала, с учетом особенностей литейного производства, нами была проведена оценка производственного потенциала с выделением своих составляющих ресурсного потенциала и рассчитана величина совокупного производственного потенциала.

Список литературы

1. *Федонін О. С.* Потенціал підприємства: формування та оцінка: навч. посібник / О.С. Федонін, І.М. Рєпіна, О.І. Олексюк - К.: КНЕУ, 2003. -316 с.

2. *Окорокова Л. Г.* Ресурсный потенциал предприятий / Л.Г. Окорокова. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. - 294 с.

3. *Рєпіна І. М.* Підприємницький потенціал: методологія оцінки та управління / І.М.Рєпіна // Вісник Української академії державного управління при Президентові України. – 1998. – № 2. – С. 262-271.

УДК 621.744.52

В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко

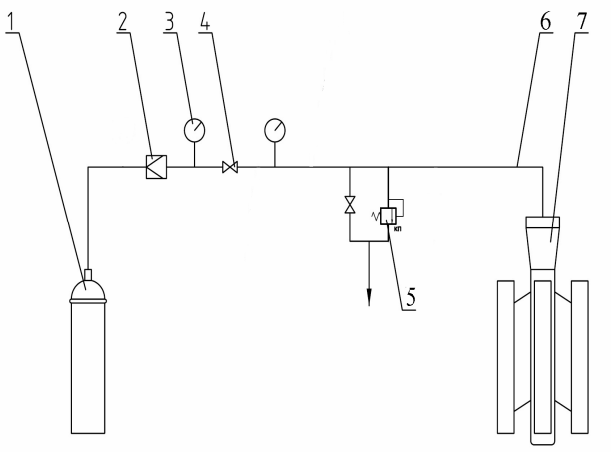
Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ В ФОРМЕ ЛВМ

На кафедре литейного производства Национальной металлургической академии Украины разработана технология газодинамического воздействия на затвердевающий в литейной форме расплав. Отличительной особенностью является возможность передачи газового давления непосредственно жидкой фазе до момента полного затвердевания отливки после герметизации системы отливка-устройство для ввода газа за счет формирования слоя затвердевшего металла соответствующей толщины на поверхности отливки [1 - 3].

Технология литья и установка для осуществления газодинамического воздействия на затвердевающий металл в керамической форме ЛВМ была опробована при отливке цилиндрических заготовок из стали Р18Л для изготовления режущего инструмента. Диаметр отливки – 25 мм, высота – 200 мм.

Газодинамическое воздействие после ввода устройства для подачи газа через литниковую воронку в верхнюю часть стояка; затем в систему подавали газ (аргон) под нарастающим давлением 0,1 – 3 МПа с использованием разработанной установки (рис.1).



1 – баллон с аргоном, 2 – редуктор, 3 – манометр, 4 – вентиль, 5- перепускной клапан, 6 – трубопровод, 7 – литейная форма.

Рис.1. Схема устройства для осуществления газодинамического воздействия на расплав в форме ЛВМ

Для исследования механических свойств металла из отливок вырезали цилиндрические образцы: полученные с применением газодинамического воздействия – №№ 1, 2, 3; полученные по традиционной технологии – №№ 4, 5, 6. Твердость после закалки и отпуска определяли по ГОСТ 9013-59 на образцах, отобранных для механических испытаний. Закалку производили в соляной высокотемпературной ванне при температуре 1260±3˚С 1,5 мин. с предварительным подогревом при 850±3˚С 5–6 мин в низкотемпературной соляной ванне. Охлажение образцов после закалки производили в масле. Отпуск образцов производили при температуре 560˚С с выдержкой 1 час и охлаждением на воздухе.

В ходе проведенной работы было установлено позитивное влияние применения газодинамического воздействия на свойства быстрорежущей стали (таблица 1).

Таблица 1 – Механические свойства стали

№ образца	$\sigma_в$, кг/мм^2	HRC	δ, %
1	172,2	62	3,55
2	171,8	61	3,75
3	172,1	61	3,73
4	138,7	53	2,57
5	137,5	52	2,59
6	137,3	52	2,57

Список литературы:

1. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В.; № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.

2. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меняйло О.В., Савега Д.О.; № u 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23.

3. *Селиверстов В.Ю.* Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок // Зб. Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.

УДК 669.295-131.4

О.С. Сергиенко, В.В. Лунев

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЛИКВИДАЦИИ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ ТИТАНОВЫХ ОТЛИВОК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ КОМПЕНСАТОРОВ

Горячее изостатическое прессование (ГИП) – это прогрессивный метод ликвидации внутренних дефектов в литых заготовках. Применение ГИП увеличивает стоимость разработки технологии для новых деталей сложной геометрии из-за необходимости обработки многочисленных пробных партий отливок в процессе подбора оптимальной конфигурации компенсатора. Для сокращения затрат на разработку новой технологии рационально использовать математическое моделирование.

Для создания двумерной компьютерной математической модели результатов ликвидации пор в титановых отливках после ГИП использована демоверсия Comsol 4.3a. Для моделирования использован модуль Solid Mechanics, который позволяет объединить эффекты пластической деформации и ползучести по механизму Набарро-Херинга в нестационарных условиях, аналогично модели, предложенной в работах [1, 2].

Для упрощения математической модели принят ряд допущений.

- не учитывается влияние легирующих элементов на физико-механические свойства бета-титана;
- образцы нагреты равномерно по объему до температуры обработки ГИП;
- вместо изостатического давления рассматривается одностороннее воздействие на поверхность образца, к которой пора находится ближе всего;
- в порах отсутствует газ, потому не учитывается процесс диффузии газа в твердом металле в процессе ликвидации пор;

Для определения влияния ликвидации пор в процессе ГИП на геометрию образца в моделировании применяются образцы с единственной порой. Пустоты располагаются в центрах образцов длиной 100 мм каждый на различной глубине. Для сравнения результатов математического моделирования с данными реальных испытаний образцов из сплава ВТ5Л использованы поры диаметром (D) 2мм, 4мм и 6мм, расположенные на глубине (H) 2мм, 4мм, 6мм и 8мм.

По условиям математического моделирования образец имеет свойства бета-титана и нагрет до температуры 1050^{o}C. Три стороны образца зафиксированы в пространстве, а к четвертой прикладывается давление 140 МПа. После окончания моделирования измерена высота результирующих углублений (h), данные измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 Размеры результирующих углублений после ликвидации пор.

D, мм	2				4				6			
H, мм	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
h, мм	2,9	2,1	1,5	1,3	3,9	3,2	2,6	2,2	4,9	3,9	3,3	2,9

В ходе исследования испытывали компенсаторы в форме полусферы, конуса и цилиндра но оптимальной оказалась зеркальная конфигурация, размеры которой определяются параметрами результирующего углубления после ГИП отливки или образца. По сравнению с компенсаторами других форм, зеркальный компенсатор имеет минимальный расход металла и оставляет после ГИП минимальный объем для удаления с поверхности отливки. С другой стороны, максимальная эффективность зеркального компенсатора достигается при точном размещении над порой, что не всегда осуществимо.

Предложенная компьютерная математическая модель предназначена для ускорения и упрощения разработки технологии изготовления новых отливок. С учетом поправочного коэффициента математическая модель позволяет спрогнозировать размеры результирующих углублений после ГИП и разработать оптимальную конфигурацию компенсатора. Предложенная форма зеркального компенсатора теоретически является наиболее рациональной с точки зрения использования металла, а также экономии ресурсов и времени на удаление излишков металла с поверхности отливок.

Список литературы

1. *P.L. Antona, C. Mapelli* Hot isostatic pressing (HIP): the state of the art & improvement of two steels // Metallurgical science and technology. – 2001. – №2. – С. 3-7

2. *М.Р. Орлов* Аналитическая оценка кинетики устранения пор в литых лопатках турбины при горячем изостатическом прессовании // Металловедение и термическая обработка металлов . – 2009. – №2 . – С. 17-20 .

УДК 621. 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭВТЕКТИКИ ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10, СОДЕРЖАЩЕГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Традиционно эвтектические составляющие литых металлических сплавов, в том числе аюминиевых, изучаются с точки зрения их состава, структуры и количества. Состав эвтектик определяет режим термообработки сплава, от их структуры зависят механические свойства материала. Количество эвтектической составляющей обуславливает литейные характеристики сплава и как следствие возможность получения сложных отливок. Одним из новых направлений современного материаловедения является разработка композиционных материалов с эвтектиками, трансформируемыми в результате термообработки в дисперсные упрочняющие включения (размерами 1 – 2 мкм). Такие сплавы рассматриваются как перспективные материалы для замены традиционных сплавов для получения тонкостенных отливок сложной конфигурации. Состав, структура и количество эвтектики в сплаве зависят от его скорости охлаждения и внешних воздействий. К современным инструментам действия на структуру сплавов относится постоянное магнитное поле. В исследованиях, проведенных на направленно закристаллизованных сплавах Al – Cu (скорость роста твёрдой фазы 2 – 500 мкм/с) в магнитном поле с индукцией (B) от 0,1 до 12 Тл отмечалось его сложное влияние на морфологию фаз.

Целью работы было исследование влияния магнитного поля на содержание элементов в эвтектиках сплава типа ВАЛ 10, без Cd, легированного редкоземельными элементами (РЗЭ), состава, % мас.: Cu – 3,70, Ce – 7,50, La – 3,20, Pr – 0,76, Nd – 1,56, Mn – 0,35, Ti – 0,13, Zr – 0,10, Zn < 0,1, Fe – 0,31, Si – 0,11, Sn – 0,01, Pb – 0,34, охлаждённого и затвердевшего со скоростью 25 °C/с без и под воздействием магнитного поля (B = 0,1 Тл). В литой структуре сплавов, полученных без и под воздействием поля, кроме зёрен α-твёрдого раствора алюминия и включений интерметаллидов присутствовали 2 вида эвтектик: 1 - с пластинчатыми включениями длиной до 30 и толщиной до 2 мкм, 2 - с укороченными включениями длиной до 2 и толщиной до 1 мкм. Площадь занятая эвтектическими фазами по отношению к общей площади шлифа составляла при 0 Тл ~ 70 %, при 0,1 Тл ~ 50 %. В общем количестве эвтектических фаз доля эв-

тектики первого вида при B = 0Тл была 98 %, второго 2 %, а при B = 0,1 Тл соответственно 90 и 10 %.

Установлено, что в сплаве, полученном при B = 0Тл, эвтектики первого вида образовывали 3 группы с минимальным, средним и максимальным суммарным содержанием легирующих и примесей - до 20; 27 и 35%. Группы эвтектик между собой наиболее существенно отличались по количеству Cu, Fe и Si. В сплаве, обработанном полем, возникло 2 группы эвтектик - с минимальным и максимальным количеством легирующих и примесей (до 40 и 60 %). Эти фазы отличались по содержанию Cu, Ce, La, Fe и Si. По сравнению со сплавом, полученном при B = 0 Тл, в этих эвтектиках при B = 0,1 Тл уменьшилось количество Cu в 2 и 1,2 раза, РЗЭ возросло в 2 – 3 раза, а Fe и Si увеличилось только в эвтектике с максимальным количеством добавочных компонентов соответственно – в 1,8 и 3,4 раза.

Эвтектики второго типа в сплаве, полученном без и с применением поля образовывали 2 группы: с минимальным суммарным количеством легирующих и примесей (B = 0 Тл - 13 %, B = 0,1 Тл – 19 %) и максимальным (B = 0 Тл – 17 %, B = 0,1 Тл – 44 %). В сплаве, затвердевшем при B = 0 Тл эти фазы наибольшим образом отличались между собой по содержанию Cu и Fe. При B = 0,1 Тл они отличались по количеству Cu, Ce, La, Pr, Nd, Mn, Fe и Pb. Действие поля на эвтектики с минимальным количеством добавок привело к увеличению в этих фазах содержания Cu в 4,9, Mn в 7,9 раза и уменьшению Ce в 19,3, La в 51, Nd в 126 раз. Концентрация Pr снизилась до 0 % (при 0 Тл - 1,8%), а Fe возросла до 9 % (0 % без поля). В эвтектике с максимальным содержанием компонентов поле наиболее существенно повлияло на концентрацию Cu и Fe - увеличило её соответственно в 3,8 и 12,4 раза.

Таким образом, магнитное поле наиболее сильно уменьшает количество Cu и увеличивает РЗЭ в эвтектиках 1 вида, что связано с ростом растворимости Cu в зёрнах и уменьшением содержания РЗЭ в интерметаллидах. На концентрацию указанных элементов в эвтектиках 2 вида влияние поля противоположно. Количество Fe возрастает во всех видах эвтектик (уменьшается в зёрнах сплава).

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ЛИТАЯ СТРУКТУРА И ТВЁРДОСТЬ МЕДИСТОГО СИЛУМИНА, ЗАТВЕРДЕВШЕГО В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Сплавы группы Al-Si-Cu являются одними из наиболее применяемых в машиностроении литейных сплавов алюминия с повышенной твёрдостью. Твёрдость сплавов данной группы, полученных литьём в земляные формы, находится на уровне 50 – 65 НВ, литых в кокиль – 70 – 78 НВ. Повышение механических характеристик связано с модифицированием включений Si, $CuAl_2$ и ß(AlFeSi)-фазы, повышением содержания элементов в α-твёрдом растворе алюминия, измельчением и уменьшением количества хрупких интерметаллидов. Одним из современных инструментов воздействия на литую структуру и свойства металлических сплавов является постоянное магнитное поле. Накопленный экспериментальный материал при изучении влияния магнитного поля на структуру сплавов Al-Si и Al-Cu, а так же имеющиеся отдельные данные, касающиеся действия поля на твёрдость металлических сплавов, указывает на его сложное проявление.

Целью работы было исследование влияния магнитного поля на структуру и твёрдость литого сплава АК12М2 из группы Al-Si-Cu.

Образцы для проведения испытаний получали переплавом чушкового металла в печи сопротивления при 800 °С. После выдержки расплава в течение 10 мин, он разливался в алундовые тигли. Сплав охлаждался и затвердевал со скоростью ~ 1 °С/с, характерной для литья в земляные формы, без и под воздействием поля постоянного магнита с индукцией (В) 0,1 и 0,2 Тл. Металлографические исследования образцов проводились на травлённых шлифах с помощью микроскопа МЕТАМ-Р1. Фазы идентифицировались по форме и цвету. Определение твёрдости выполнялось по 9012-59.

Анализ литой структуры образцов показал, что под воздействием магнитного поля с индукцией как 0,1, так и 0,2 Тл, частицы Si измельчились в 1,5 раза. Участки эвтектики α + Si + $CuAl_2$ + Mg_2Si при В = 0,1 Тл не наблюдались, а при В = 0,2 Тл их протяжённость увеличилась в 1,5 раза, но доля этой составляющей сократилась вдвое. Количество включений игольчатого интерметаллида Al-CuFeSi в результате влияния магнитного поля сократилось на ~ 80 %. Длина

данных образований сократилась в 6 и 3 раза после обработки сплава полем с индукцией соответственно 0,1 и 0,2 Тл. Фаза AlFeSiMn (ß(AlFeSi)-фаза, модифицированная Mn), имела в сплаве, полученном при B = 0 Тл разветвлённую форму, при B = 0,1 Тл преобразовалась следующим образом: более 50 % этих включений располагались по границам зёрен в виде оболочек толщиной до 5 мкм; ~ 30 % отображали переход от разветвлённого вида к оболочковому, остальная часть сохранила прежнюю форму. При увеличении индукции до 0,2 Тл отмечался некоторый рост протяжённости разветвлённой фазы AlFeSiMn.

Сокращение количества составляющих α + Si + $CuAl_2$ + Mg_2Si и AlCuFeSi, вероятно, связано с перераспределением компонентов между фазами сплава, в результате чего может повышаться легированность зёрен α-твёрдого раствора алюминия. Данное проявления влияния поля вместе с его модифицирующим воздействием на размер частиц Si и форму включений AlFeSiMn способствовало повышению твёрдости сплава с 61,3 НВ, полученного при B = 0 Тл до 78,4 НВ сплава, обработанного полем с индукцией 0,1 Тл и 70,1 НВ для B = 0,2 Тл. Такой уровень твёрдости характерен для сплава АК12М2, полученного литьем в кокиль (70 НВ согласно ГОСТ 1583 - 93).

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ МЕДИСТОГО СИЛУМИНА, ОБРАБОТАННОГО МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ И ЗАТВЕРДЕВАНИИ

Литейные высокопрочные медистые силумины широко применяются в современном машиностроении. В перспективе для некоторых деталей они могут заменить чугун. Недостатком данных сплавов является низкая коррозионная стойкость, понижающаяся с ростом содержания Cu в сплавах. Количество Cu достигает 3 % мас. (ГОСТ 1583-93) и 0,9 – 1,3 % мас. в сплавах, производимых в Германии, США и Японии. Локализованная, особенно межкристаллитная, коррозия является одной из ведущих причин разрушения материала.

Разработки по повышению коррозионной стойкости медистых силуминов ведутся по направлению коррекции их химсостава (изменением количества леги-

рующих, лимитированных ГОСТ – Cu, Ti, Ni, Fe и вводом в легирующий комплекс B, Ce, Cr, Pd, Zn и др.). При этом за счёт химсостава добиваются изменения морфологии фаз в литом сплаве. Однако данный метод является чувствительным к точному содержанию компонентов и возможному его негативному влиянию на другие служебные свойства сплавов. Поэтому актуальной является задача повышения коррозионной стойкости сплавов состава, определённого стандартом. Имеются отдельные данные по повышению коррозионной стойкости композиционных материалов (Ni + Al_2O_3) для покрытий, синтезированных под воздействием постоянного магнитного поля. Целью данной работы было изучение влияния постоянного магнитного поля на литую структуру и стойкость к межкристаллитной коррозии высокомедистого силумина.

Исследования проводились на сплаве АК12М2. Образцы получались переплавом чушкового металла в печи сопротивления (температура обработки 800 °C, время выдержки расплава 10 мин) с последующей заливкой в алундовые формы, где металл охлаждался и затвердевал со скоростью ~ 1°C/с без и под воздействием постоянного магнитного поля с индукцией (B) 0,1 и 0,2 Тл. Отливки разрезались в вертикальном направлении, из них готовились образцы для анализа литой структуры и проведения испытаний на межкристаллитную коррозию согласно ГОСТ 9.021-74.

Анализ структуры сплава (B = 0 Тл) показал, что она состояла из зёрен α-твёрдого раствора алюминия (средний размер зерна 60 мкм), эвтектических составляющих - α_{AL} + Si (с игольчатыми и удлинёнными частицами кремния до 90 мкм) и α_{AL} + Si + $CuAl_2$ (с компактной фазой $CuAl_2$ длиной до 50 мкм), участки α_{AL} + Si + $CuAl_2$ + Mg_2Si протяжённостью до 40 мкм, разветвлённой скелетообразной фазы AlFeSiMn (протяжённостью до 130 мкм) и игольчатых включений интерметаллида AlCuFeSi (длиной до 100 мкм). Глубина межкристаллитной коррозии данного металла составила 672,0 ± 168,0 мкм. Наложение постоянного магнитного поля на сплав вызвало наибольшие изменения в морфологии фаз AlFeSiMn и AlCuFeSi. При B = 0,1 Тл более 50 % образований AlFeSiMn трансформировалось в оболочки (толщиной ~ 3 мкм), покрывавшей зёрна сплава, а остальные её включения имели вид, отображающий процесс перехода от скелетообразной к оболочковой форме. Длина игл AlCuFeSi сократилась до 15 мкм. Измельчение фаз способствовало снижению глубины межкристаллитной коррозии до 244,8 ± 50,5 мкм по сравнению со сплавом, не обработанным полем. Воздействие на сплав поля с B = 0,2 Тл вызвала следующие изменения в

морфологии фаз: протяжённость образований AlFeSiMn увеличилась до 150 мкм, количество её разветвлений возросло и вместе с тем вдвое сократилась их толщина; длина AlCuFeSi уменьшилась до 30 мкм. Глубина межкристаллитной коррозии в таком сплаве была 516,0 ± 86,2 мкм.

Таким образом, постоянное магнитное поле оказывает наиболее сильное влияние на железосодержащие фазы медистого силумина, увеличивая протяжённость AlFeSiMn и сокращая в 3 – 6 раз длину AlCuFeSi. Поскольку самым неблагоприятным элементом для развития коррозии в таких сплавах является Cu, то вероятно большая протяжённость фазы AlFeSiMn является препятствием для развития коррозии по наиболее богатым медью включениям $CuAl_2$. В результате магнитное поле уменьшает глубину межкристаллитной коррозии сплава при B = 0,1 Тл в 2,8 раза и в 1,3 раза при B = 0,2 Тл. Перспектива дальнейших исследований заключается в установлении влияния поля на перераспределение элементов между фазами.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ФАЗАМИ ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10, ЛЕГИРОВАННОГО РЗМ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОХЛАЖДАЮЩИЙСЯ И ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ СПЛАВ

Повышение свойств сплавов системы Al – Cu достигается формированием специальных структур, в том числе за счёт усложнения химсостава. Основные направлениями повышения прочностных свойств включают: увеличение легированности зерна, прежде всего Cu (создающей в результате термообработки дисперсную упрочняющую фазу); создание в литой структуре дисперсных алюминидов (с Mn, Ti, Ce, Zr и др.); уменьшение количества фаз, содержащих Fe (они растворяют Cu в результате чего она не участвует в упрочнении).

Для влияния на содержание элементов в фазах сплава применяются различные скорости охлаждения, так же в комплексе с внешними воздействиями, в том числе с постоянным магнитным полем. По имеющимся данным действие постоянного магнитного поля с индукцией (B) 9 и 12 Тл на сплав Al с 5,0 % мас. Cu (количество примесей < 0,1 % мас.), охлаждённого со скоростью ~ 1,0 °C/c

привело к увеличению концентрации Cu в зёрнах сплава на расстоянии ½ между их центром и границей. Так же при исследовании сплава Al с 1,5 % мас. Cu, затвердевшего в постоянном магнитном поле, отмечалось увеличение растворимости Cu в Al.

Исследования проводились на сплаве состава, % мас.: Cu – 3,70, Ce – 7,50, La – 3,20, Pr – 0,76, Nd – 1,56, Mn – 0,35, Ti – 0,13, Zr – 0,10, Zn < 0,1, Fe – 0,31, Si – 0,11, Sn – 0,01, Pb – 0,34, остальное Al, охлаждённого и затвердевшего со скоростью 25 °C/c без и под воздействием магнитного поля (индукция B = 0,1 Тл). Анализ литых структур образцов осуществлялся с помощью микроскопа МЕТАМ-Р1, содержания элементов в фазах -микроанализатора REMMA – 102.

В литой структуре сплава, полученного как без так и под воздействием поля присутствовали фазы: зёрна α-твёрдого раствора алюминия, эвтектики и включения алюминидов следующих типов: на базе компонентов Al и Ce; Al и Cu; Al и Ti; Al и Fe.

Установлено, что наиболее существенно влияние магнитного поля выражалось в следующем. В зёрнах сплава содержание Cu возросло в 1,5 раза, Pb в 2,4 раза. При B = 0 Тл Zn не обнаруживался, а под влиянием поля его количество составило 0,02 %. Концентрация Sn снизилась в ~3 раза. Под влиянием магнитного поля в центральной зоне алюминида на базе Al и Ce только в одной локальной зоне был выявлен Ti в количестве 0,1 %, в то время как без обработки сплава полем его содержание было 0,14 %. На периферии этих включений содержание Ti снизилось в 4,3 раза. Вследствие такого воздействия поля на Ti в 10 раз возросло число включений на базе Al и Ti, при увеличении этого элемента в них на ~ 1 %. Количество Cu в данных алюминидах увеличилось до 13 раз, La и Sn до 3 раз, а Nd вдвое. Без применения магнитного поля Si во включениях не выявлен. Обработка полем привела к растворению Si в данных интерметаллидах до 0,24 %. В фазе на основе Al и Cu расширился диапазон содержания Cu с 8 – 14 % при B = 0 Тл до 9 -22 % при B = 0,1 Тл, но размер этих включений снизился втрое, а количество вдесятеро. Под воздействием магнитного поля, в образованиях на базе Al и Fe снизилось количество связанной

Cu в 1,6 раза и вместе с тем в 2,8 раза возросло содержание Fe. Суммарная концентрация РЗМ без влияния поля была 15 %, а под его воздействием данные элементы не обнаруживались. В эвтектиках сплава возросло содержание РЗМ и Si до 3 раз, а Cu уменьшилось до 2 раз. Обнаружена тенденция повышения количества Mn и Fe в эвтектиках сплава.

Таким образом, под воздействием магнитного поля увеличивается легированность зёрен Cu, в эвтектических составляющих растёт содержание РЗМ, Mn, Fe и Si. Уменьшается количество связанной меди в железосодержащих интерметаллидах и их число. Так же из этих соединений высвобождаются редкоземельные элементы. Возрастает количество интерметаллидов на базе Al и Ti за счёт обеднения фазы на основе Al и Ce растворённым в ней Ti. Нарастает концентрация Fe в интерметаллидах на базе Al и Fe.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

УМЕНЬШЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ ЛИТОГО СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10, ЗАТВЕРДЕВШЕГО ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Литейные сплавы системы Al-Cu благодаря высоким прочностным характеристикам и малой плотности широко используются в авиастроении. Однако из всех групп литейных сплавов они имеют самую низкую коррозионную стойкость вследствие высокого содержания Cu (до 5 % мас.). Повышает склонность таких сплавов к межкристаллитной коррозии неравномерное распределение меди между зёрнами и межзёренными пространствами. Основное её количество находится в межзёренном пространстве в виде соединения $CuAl_2$. При этом процесс межкристаллитной коррозии начинается с разрушения Al, входящего в это интерметаллическое соединение. Известно, что на количество фаз, находящихся в межзёренном пространстве, влияют скорость охлаждения и другие факторы, в том числе постоянное магнитное поле. Имеются отдельные сведения по влиянию постоянного магнитного поля на количество фаз в бинарных сплавах Al (приготовленных из чистых компонентов), наложенного на металл при его охлаждении и затвердевании по сравнению с материалом, не подвергавшемся такому воздействию. В сплаве Al – Si, полученном при действии поля с индукцией (B) от 4 до 12 Тл, происходило увеличение доли фазы на основе алюминия, а в сплаве Al – Cu (B = 12 Тл) уменьшение доли эвтектической составляющей. Так же по существующим отдельным данным, обработка магнитным полем (от 0,1 до 0,7 Тл) композиционных материалов на основе Ni с разным количеством включений Al_2O_3 приводит к улучшению их коррозионной стойкости.

Целью данной работы было исследование влияния скорости охлаждения и постоянного магнитного поля на количество фазы $CuAl_2$, форму её включений и характер коррозионных поражений сплава типа ВАЛ 10. Материалом для проведения исследований служил экспериментальный сплав, отличающийся от стандартного меньшим содержанием Ti (0,02 % мас., 0,15 – 0,35 % мас. в промышленном) и отсутствием экологически опасного Cd. Количество Cu в экспериментальном сплаве было 5,0 % мас., что близко к допустимому верхнему пределу содержания Cu промышленного сплава (4,9 % мас.). Пониженное количество Ti взято с целью уменьшения его влияния на размер зерна, поскольку от этого параметра литой структуры зависит глубина проникновения коррозии. Сплав для исследований выплавлялся в МДН-установке, затем полученный металл переплавлялся в печи электросопротивления и после термовременной обработки (800 °С, 10 мин.) заливался в формы, где охлаждался и затвердевал со скоростями 10 и 25°С/с, под действием поля с индукцией 0 и 0,1 Тл. Из полученных отливок готовились образцы для определения металлографическим методом соотношения числа включений $CuAl_2$ плёночного вида и отдельных включений компактной формы, количества фазы $CuAl_2$ в межзёренных пространствах сплава (S). Эта характеристика выражалась процентным отношением общей площади шлифа к площади фазы $CuAl_2$. Коррозионные испытания сплава проводились по ГОСТ 9.021-74, оценка коррозионных поражений по ГОСТ 9.908-85. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица

Характер коррозионных поражений сплава типа ВАЛ 10

Скорость охлаждения, °С/с	B, Тл	S, %	Включения $CuAl_2$: плёночные/компактные, %	Глубина межкристаллитной коррозии, мкм	Максимальные глубина/ширина коррозионных язв, мкм
10	0	8,6	65 / 35	345,26 ± 79,11	120 / 160
	0,1	6,4	90 / 10	244,80 ± 21,38	54 / 90
25	0	5,7	60 / 40	231,96 ± 23,50	110 / 100
	0,1	4,3	95 / 5	242,79 ± 10,08	27 / 36

Таким образом, под воздействием магнитного поля увеличивается доля включений плёночного типа, уменьшается количество фазы, содержащей Cu в межзёренном пространстве (в 1,3 раза). Установлено, что при медленном охлаждении (10 °С/с) магнитное поле эффективно сокращает глубину проникно-

вения межкристаллитной коррозии – в 1,4 раза и в 3,7 раза уменьшает размах колебаний её величины. При 25 °С/с в магнитном поле в 1,05 раза растёт глубина проникновения коррозии, но существенно уменьшаются размеры коррозионных язв – в 4,1 раза глубина и в 2,8 раза ширина.

УДК 669.017.12/15:621.745.56:537.84

Е. В. Середенко, В. А. Середенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ФОРМИРОВАНИЕ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ СПЛАВА ТИПА ВАЛ 10 С ДОБАВКОЙ МИШМЕТАЛЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Одним из современных направлений повышения комплекса служебных и технологических свойств высокопрочных сплавов системы Al – Cu является легирование их элементами, обеспечивающими формирование литых структур с большим количеством дисперсных интерметаллидов и эвтектических составляющих. Добавки редкоземельных элементов, в том числе в виде мишметалла, в количестве до 15 % мас. повышают свойства Al, в том числе твёрдость и прочность. Механические свойства сплавов увеличиваются с ростом количества таких добавок. Данный эффект усиливается с повышением скорости охлаждения. Это связано с модифицированием литой структуры сплавов, заключающейся в измельчении эвтектик и интерметаллидов. Снижение размеров интерметаллидов, наиболее актуально для сплавов с содержанием мишметалла ~ 10 – 15 % мас. Для промышленного применения сплавов с содержанием мишметалла до 15 % мас. с целью предотвращения огрубления структуры необходимы скорости охлаждения ~ 10^3 – 10^4 °С/с.

Модифицирование литых структур сплавов происходит под влиянием различных внешних воздействий, в том числе постоянного магнитного поля. Имеется ряд данных, указывающих на изменение морфологии зерен металлических сплавов под влиянием магнитного поля, причём проявление этого воздействия носит сложный характер. Только отдельные сведения касаются воздействия на эвтектические составляющие и включения интерметаллидов в сплавах, в частности, алюминиевых. Так, в непрерывнолитом слитке сплава АЛ4, обработанного магнитным полем с индукцией (В) до 0,257 Тл произошло истончение эвтектики и повышение однородности её строения, а при В≥0,1 Тл подавлялось

образование фазы AlMnFeSi. Под воздействием поля с индукцией до 10 Тл на сплав Al – Cu эвтектического состава, приготовленного из чистых компонентов, происходило уменьшение эвтектических колоний и преобразование их составляющих.

Целью представленной работы было изучение влияния магнитного поля на литую структуру сплава типа ВАЛ 10, не содержавшего Cd, легированного 13 % мас. мишметалла с содержанием 7,5 % Ce (остальное La, Nd, Pr). Скорость охлаждения сплава составляла 25 °C/c, индукция магнитного поля, действовавшего на сплав при охлаждении и затвердевании - 0,1 Тл. Состав фаз определялся микрорентгеноспектральным анализом. В структуре сплава, не обработанного магнитным полем, наблюдались зёрна α-твёрдого раствора Al (средний размер 25 мкм), занимавшие площадь по отношению к общей площади шлифа 30 %, а на остальной площади располагались эвтектики: с пластинчатыми включениями толщиной до 2 мкм и укороченными включениями с толщиной до 1 мкм. Интерметаллидные включения были представлены фазой Al_4Ce призматической и удлинённой форм размерами до 500 мкм. Многие включения имели полости, заполненные α-твёрдым раствором Al. Также в структуре имелись выделения до 15 мкм, среди которых преобладала фаза компактной формы, содержавшая, по сравнению с другими, наибольшее количество Cu. Остальные включения имели наибольшее количество Ti (до 5 мкм, призматической формы) и Fe (до 15 мкм, компактной формы).

Под воздействием магнитного поля средний размер зерна сплава уменьшился до 20 мкм, площадь, занятая α-твёрдым раствором Al увеличилась до 50 %. Возросла в 5 раз доля дисперсной эвтектики с укороченными включениями ~1 мкм. Только единичные образования Al_4Ce сохранили призматическую форму. Полостей в них не наблюдалось. Остальные выделения этой фазы были раздроблены на фрагменты размерами до 5 мкм. В 10 раз уменьшилось количество включений с наибольшим содержанием Cu и в 3 раза сократились их размеры. Форма включений стала сложной. Количество интерметаллидов с наибольшим содержанием Ti возросло в 10 раз, размеры максимальных включений снизились в 3 раза, их форма стала компактной и сложной. Сократились размеры фазы с наибольшим содержанием Fe – до 5 мкм.

Таким образом, под воздействием магнитного поля при скорости охлаждения сплава ~10^1 °C/c существенно измельчились включения интерметаллидов и возросла доля дисперсной эвтектики. Легирование сплава типа ВАЛ10 без Cd

мишметаллом увеличило его твёрдость на 12,8 %, а действие легирования и магнитного поля на 24,6 %.

УДК 669.131.5:537.34

В. А. Середенко, С. Г. Голубчик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ЭЛЕКТРОТОКОВОЙ ОБРАБОТКЕ НЕБОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ РАСПЛАВОВ

Подвод электротока в электропроводные расплавы электродами, погруженными под их уровень, наиболее применяемый способ в ряде процессов электрообработки, в частности, небольших масс металла (до 100 кг). Основным условием при использовании электропроводных материалов для электродов является их стойкость в агрессивных расплавах при воздействии электротока. Исключением являются технологии, в которых электроды разрушаются (расплавляются) в жидкой среде (электрошлаковое литье, ввод лигатур). Наиболее распространенная схема ввода электротока в металлические расплавы в литейных ковшах и формах – бифилярная. Диаметр ($d_э$) стержневых электродов – от 2 мм (нихром) до 30 мм (сталь), плотности в них электротока i от $5 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^7$ А/м^2. В условиях медленного течения расплава (критерии Re<100 и Nu $\approx$1) в приэлектродных зонах критерий Био (Bi), характеризующий отношение внутреннего (электрода) и внешнего (расплава) термических сопротивлений, определяется как $Bi=\lambda_р/\lambda_э$, где $\lambda_р$ и $\lambda_э$ соответственно теплопроводности расплава и электрода. Результаты анализа электрических и термических характеристик типичных электродов приведены в табл. 1. Для определения степени неравномерности распределения электротока в электродах и связи с соотношением $К_э$ проведены опыты по вводу электротока в жидкий галлий. Электродами служили стержни диаметром от 1,8 до 3,0 мм при значении i до $1{,}2 \cdot 10^7$ А/м^2 – табл. 2. Установлено, что возникновение локального перегрева электрода и расплава в приэлектродной зоне происходит вследствие неоднородного распределения электротока по высоте электрода и характеризуется значением $К_э$ >>1. При этом почти весь ток стекает с электрода в тонкой зоне его контакта с зеркалом расплава. Вследствие этого плотность тока в ней резко возрастает, что корре-

лирует по величине со значением $К_э$. Так как в данной зоне электросопротивление контактного промежутка электрода и расплава велико это может приводить при высоких значениях i к существенному нагреву электрода у зеркала расплава и локальному окислению как части поверхности электрода, так и расплава.

Таблица 1 – Некоторые характеристики погружных электродов при электрообработке небольших масс расплавов.

Обрабатываемый расплав	Материал электродов	Соотношение свойств расплава и электродов		Термическая характеристика тела электрода
		удельное электросопротивление, $К_э$	теплопроводность, $К_\lambda$	
Сталь	Вольфрам	24	0,15	$0,01 \leq К_\lambda \leq 0,25$- тонкое
	Сталь	12	0,42	$0,25 < К_\lambda < 0,5$ - между тонким и массивным
Чугун	Чугун	2,8	0,39	-«-
	Сталь	14,8	0,56	$К_\lambda > 0,5$ - массивное
	Графит	0,2	0,25	$К_\lambda = 0,25$ - тонкое
	Нихром	1,5	3,13	$К_\lambda > 0,5$ -массивное
	Медь	87	0,05	$0,01 \leq К_л \leq 0,25$-тонкое
Алюминий	Сталь	2,8	1,39	$К_\lambda > 0,5$ -массивное
	Графит	0,04	~ 1	-«-

Таблица 2 – Характеристики электродов при вводе электротока в расплав галлия.

Электроды	$К_э$	$К_\lambda$	Распределение тока в электроде	Термическая характеристика тела электрода
Графит	0,034	0,4	неравномерное	тонкое-массивное
Нихром	0,27	5	-«-	массивное
Константан	0,54	1,25	-«-	-«-
Медь	15,9	0,08	равномерное	тонкое

Определено, что снижению перегрева и окисления материала электрода способствует использование электродов с $К_э \leq 1$ и $К_л \geq 1$, а также ограничение плотности электротока. При использовании электродов с $К_э >> 1$ погружение их в расплав более чем на $2d_э$ неэффективно, т.к. электрический ток преимущественно перетекает из электрода в расплав в зоне его зеркала.

УДК 621. 669.017.12/15:621.745.56:537.84

В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. А. Паренюк

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МИКРОЭМУЛЬГИРОВАННОГО СПЛАВА Bi - Zn

Наличие в металлических сплавах монотектической системы области несмешивания жидких фаз позволяет формировать в них эмульгированное состояние. Эти сплавы применяются в современной технике в качестве материалов с высокой прочностью, тепло- и электропроводностью, износостойкостью. Структура, обеспечивающая необходимый уровень свойств, характеризуется размерами включений 5 - 15 мкм и их количеством ~ $1 \cdot 10^3$ мм$^{-2}$. Данные параметры структуры реализуются при скорости охлаждения до 10^2 °С/с. Основным резервом повышения свойств эмульгированных сплавов является увеличение дисперсности и количества включений. Для достижения этого необходимы высокие скорости охлаждения расплава ~ (10^3 – 10^5) °С/с. Однородность структуры также является важным фактором повышения свойств сплавов. Вследствие ряда особенностей поведения эмульсии при охлаждении, формирование однородной структуры затруднено. Имеются данные, указывающие, что даже при быстром охлаждении ленты толщиной 50 мкм из сплава Cu-Cr со скоростью 10^5 °С/с по её высоте образуются зоны с разным размером и количеством включений.

В исследованиях по формированию структуры эмульгированных сплавов основное внимание уделяется величине включений и их распределению по размерам. Недостаточно изучено влияние скорости охлаждения на количество эмульгированных включений, а так же редко учитываются особенности теплообмена между расплавом и охлаждающей средой.

Эксперименты проводились на замонотектическом сплаве Bi – 30 % мас. Zn. Температура обработки расплава и разливки составляла 560°С (на 50 °С выше температуры бинодали), толщина образцов, заливаемых на подложку - 600, 300 и 120 мкм. Скорость охлаждения (υ) рассчитывалась с помощью уравнения Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи (α) от образца к подложке определялся на основе современного подхода, учитывающего контактное сопротивление воздуха, заключённого между неровностями на поверхности подложки. В исследованиях применялись подложки с близкими коэффициентами теплопроводности, но с разными высотами миконеровностей на поверхности – точёная

графитовая с микронеровностями ~ 200 мкм (α = $1{,}63 \cdot 10^3$ Вт/(м^2 ·К)) и полированная стальная с - 2,3 мкм (α = $1{,}42 \cdot 10^5$ Вт/(м^2 ·К)). Условия теплообмена характеризовались числами Био (Bi) и Фурье (Fo). Определялись средний размер эмульгированных включений (b), среднее расстояние между включениями (*L*) и количество включений на единице площади шлифа (q), определёнными с помощью оптического микроскопа.

Структуры образцов затвердевших на графите, были однородными.

Также была однородной структура образца толщиной 120 мкм, закристаллизованного на стали. В остальных образцах наблюдались 3 зоны: нижняя - со стороны, примыкавшей к подложке (высота зоны 60 мкм), средняя и верхняя – со стороны воздуха (высота зоны 60 мкм). Размеры включений Zn в нижней зоне были на 30 %, в верхней - на 7 % меньше, чем в средней. Условия охлаждения и параметры структуры (для образцов с неоднородным строением – для средней зоны) приведены в таблице.

Таблица

Влияние условий охлаждения на микроэмульгированный сплав

Параметры	Графитовая подложка			Стальная подложка		
	Толщина образца, мкм					
	600	300	120	600	300	120
u, °C/c	$8{,}21 \cdot 10^2$	$1{,}64 \cdot 10^3$	$4{,}10 \cdot 10^3$	$7{,}12 \cdot 10^4$	$1{,}42 \cdot 10^5$	$3{,}56 \cdot 10^5$
Bi	0,065	0,033	0,013	5,67	2,83	1,13
Fo	12,1	24,2	60,5	0,1	0,3	0,7
b, мкм	6,4±1,02	3,6±0,46	3,1±0,58	3,6±0,45	1,7±0,17	1,4±0,13
L, мкм	8,2±1,89	3,1±0,88	2,9±1,31	5,4±0,86	2,5±0,66	1,2±0,25
q, мм$^{-2}$	$7{,}90 \cdot 10^3$	$1{,}11 \cdot 10^4$	$1{,}25 \cdot 10^4$	$1{,}10 \cdot 10^4$	$6{,}02 \cdot 10^4$	$1{,}78 \cdot 10^5$

Таким образом, для однородных структур (подложка - графит) число Bi < 0,1, что отвечает условию термически “тонкого” тела с весьма незначительным перепадом температуры внутри охлаждающегося образца. Для образца, полученного на стали, однородность структуры, вероятно, связана со смыканием нижней и верхней зон. Наиболее дисперсные эмульгированные структуры образуются в условиях Fo < 1, однородные при Bi ≤ 1.

УДК 621.742:658.567

И. Э. Скидин, Е. В. Чалая,
Государственное высшее учебное заведение
«Криворожский национальный университет»

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИТЬЯ ИЗ ОТХОДОВ МОДЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одним из наиболее ответственных этапов в производстве литья является точное выполнение модельной оснастки. Для изготовления моделей чаще всего используют дерево, как крепкий и легкообрабатываемый материал. При изготовлении моделей задействован высококвалифицированный штат модельщиков, занимающихся обработкой древесины на деревообрабатывающих станках с последующей вязкой заготовок для получения сложных геометрических фигур, что связано с определенными трудностями.

С целью уменьшения себестоимости литья предлагается технология изготовления моделей из отходов модельного производства, которая заключается в изготовлении моделей дубликатов по полученному отпечатку в форме изношенной модели, с последующим заполнением полости смесью составленной из отходов модельного производства (опилок).

Нами проведены исследования по изучению физико-механических свойств образцов смесей для изготовления моделей из отходов собственного модельного производства литейного цеха. Для исследований изготавливались образцы из отходов и связующего путем прессования смеси в гильзу диаметром 50 мм и высотой 40 мм. Опробована возможность использования смеси опилок с синтетическими смолами, с жидким стеклом, жидким стеклом с гипсом (для увеличения предела прочности образцов, а также для ускорения процесса кристаллизации жидкостекольной смеси). Результаты экспериментов показали, что количество добавляемого связующего влияет на физико-механические свойства образцов. Чем больше связующего добавляется в наполнитель (опилки), тем выше показатели физико-механических свойств. Исследованы различные рецептуры смесей с анализом крупности наполнителя с последующим сравнением их прочности с прочностью деревянных образцов из сосновой породы дерева.

Прочность моделей со специально изготовленной (резаной) стружки несколько выше, чем моделей с дробленки (стружки-отходов от строгальных станков) и опилок при одной и той же плотности и одинаковом количестве добав-

ленного связующего. С увеличением длины стружки до 20 мм прочность модели увеличивается, при дальнейшем увеличении длины интенсивность повышения прочности резко снижается. С увеличением ширины стружки прочность моделей снижается, при этом максимальные прочностные свойства образцов достигаются при ширине стружки до 2-4 мм. Оказывает существенное влияние на прочностные свойства образцов толщина стружки, максимальное значение которой должно не превышать 0,6 мм. При повышении толщины стружки более 0,6 мм резко снижается прочность образцов.

На основании проведенных исследований разработана технология изготовления моделей отливок из отходов модельного производства литейного цеха. Для изготовлении моделей используется смесь, состоящая из опилок мелкой фракции и связующего. Полноценным сырьем для изготовления моделей являются отходы любой малоценной древесины, как хвойных, так и лиственных пород. В качестве связующего преимущественно рекомендуется использовать синтетические смолы. Все кусковые отходы измельчаются в щепу на рубильных машинах. При необходимости проводится дополнительное измельчение и сушка стружки. Оптимальный уровень влаги в стружке должен составлять 2-6%, при низких ее показаниях требуется дополнительное увлажнение. Готовую смесь направляется на формовку. Форма для изготовления модели изготавливается по эталонной деревянной модели.

УДК 621.744

Е.В. Симонова, Н.С. Евтушенко, О.И. Пономаренко
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ СМОЛЯНЫХ ХТС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОФОС

В последнее время в литейном производстве одними из самых распространенных смесей являются холоднотвердеющие смеси (ХТС) на синтетических смолах. Это объясняется их высокой прочностью при небольшом расходе, возможностью регулирования скорости отверждения смеси в большом диапазоне, а также в отсутствии необходимости в сушильном оборудовании, благодаря чему существенно упрощается и сокращается цикл изготовления отливки.

Применение ХТС позволяет механизировать и автоматизировать изготовление стержней, повышает производительность труда и чистоту поверхности отливок, снижает брак и себестоимость отливок.

Разработанное в НТУ «ХПИ» новое экологическое связующее ОФОС на основе олигофурфурилоксисилоксанов на сегодня полностью удовлетворяет всем современным требованиям, предъявляемым к связующим материалам в литейном производстве. Основной особенностью связующего является отсутствие в его составе отравляющих веществ, благодаря чему оно признано экологически чистым.

Для получения крупных стальных отливок вместо кварцевых песков целесообразнее использовать хромитовый песок, который благодаря, более высокой теплопроводности и теплоаккумулирующей способности предотвращает неравномерность кристаллизации, приводящие к образованию горячих трещин и напряжений в отливке.

Целью данного исследования является изучение основных свойств смесей со связующим ОФОС, на основе количественных зависимостей между параметрами приготовления смеси и ее физико-механическими свойствами, т.е. на основе математической модели.

Для построения математической модели формовочной смеси были выбраны два основных фактора состава формовочной смеси: количество ОФОС и количество ПТСК.

Контролировались следующие физико-механические свойства смеси: прочность на изгиб в сыром состоянии; прочность на разрыв и прочность на сжатие.

Механические свойства формовочных и стержневых смесей являются одним из главных факторов, определяющих возможность получения качественных отливок.

Для изучения свойств был проведен активный планируемый эксперимент типа 2^{3-1} (полуреплика полного факторного эксперимента для двух переменных).

В качестве параметра оптимизации (y) были выбраны основные физико-механические показатели свойств формовочной смеси: прочность на изгиб, прочность на разрыв и прочность на сжатие (y_1, y_2, y_3 соответственно).

Варьируемыми факторами являлись: количество введенной в смесь смолы (x_1) и количество используемого катализатора (x_2). В качестве катализатора применяли ПТСК.

В результате обработки полученных данных была получена система уравнений регрессии, которая позволяет судить об изменении свойств смесей на хромитовых песках:

$$y_1 = 26,75+2,75X_1+1,25X_2;$$

$$y_2 = 3,75+0,5\ X_1+0,35X_2;$$

$$y_3 = 6,725+0,575X_1+0,275X_2$$

На основе разработанных математических моделях были построены номограммы, описывающие зависимости между параметрами технологии и свойствами формовочных смесей. На их основе возможна корректировка параметров процесса смесеприготовления за счет изменения количества вводимых составляющих смеси и их концентрации, что может быть использовано для оперативного управления свойствами смеси.

УДК 621.74:639.3

В.А. Сиротенко, В.В. Губін

«Харківський тракторний завод ім. Орджонікідзе», Харків

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОЧИЩЕННЯ ЧАВУННОГО ЛИТВА

Незважаючи на різноманіття існуючих методів очищення литва, проблема підвищення якості поверхні виробів залишається актуальною в теперішній час[1].На сьогоднішній день найбільш широке застосування серед існуючих методів очищення литва знайшла дробеметна очистка. Сутність очищення заключається в контакті поверхні виробів з абразивним агентом[2]. Якість очищення виробів залежить від способу та інтенсивності процесу очищення. В даний час очисні агенти вражають своєю різноманітністю, будовою, способом дії[3].

Метою роботи являється розробка комп'ютерно-інтегрованого управління процесом очищення чавунного литва та подальше його впровадження на діючі установки ПАТ «Харківський тракторний завод».

Дане впровадження системи комп'ютерного управління установкою очищення чавунного литва являється актуальним на даний момент і є доцільним для підвищення продуктивності праці і росту об'ємів виробництва. В якості об'єкту автоматизації було обрано дробеметну установку включену в автоматичну лінію. За для підвищення якості керування технологічним процесом обрано деякі-

лька контурів керування параметрами. Впровадження данних контурів надасть змогу підвищення якості очищення литва.

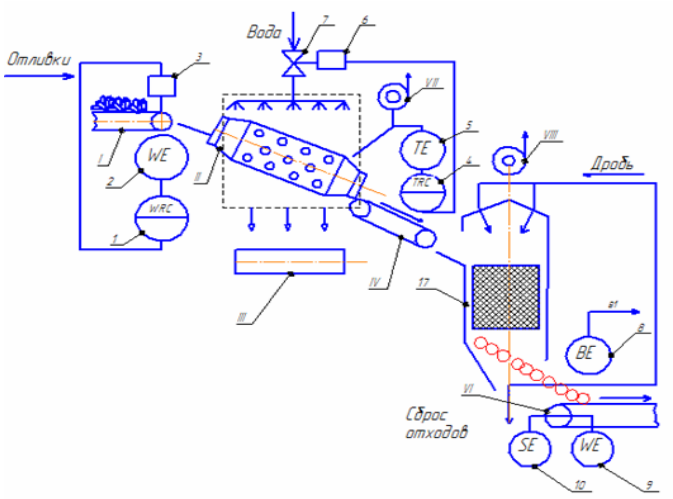


Рис. 1 – Функціональна схема

На рис.2 зображена функціональна схема очисної лінії з установленними приладами і датчиками, які дають змогу керувати технологічним процесом. Данні від датчиків через мікроконтролер подаються на ЕВМ, після чого оператор може вносити свої корективи і в повному обсягу керувати процесом очищення литва.

Використовуючи SCADA системи була розроблена програма, яка дає змогу керувати процесом очищення литва на відстані за допомогою робочого місця оператора. Програма дає змогу наглядно спостерігати за тех. Процесом використовуючи дисплей ЕВМ та вносити корективи. Передбачає контроль за декількома параметрами і всього тех. процесу в цілому. Головною складовою комп'ютерно-інтегрованої системи є мікроконтролер , який відповідає за правильну роботу системи.

Результати досліджень показали, що впровадження даної комп'ютерно – інтегрованої системи вплине на ріст якості праці та надасть змогу більш ефективно керувати процесом очищення литва. Дане впровадження направлене на зниження економічних затрат.

Список літератури:

1. *Можарин В.П.* Ливарне виробництво/В. П. Можарин – Томск: ТПУ, 2011. – 468 с.

2. *Кукуй Д.М.* Автоматизація ливарного виробництва/Д. М. Кукуй,В. Ф. Одиночко – Минск: Нове видання, 2008. –240 с.

3. *Дембовський В.В.* Автоматизация управления производством/ В. В. Дембровский – СПб.: СЗТУ, 2004. – 82 с.

УДК 621.746: 669.18

Соколовская Л.А., Шинский О.И., Мамишев В.А.

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛИТОГО МЕТАЛЛА

Суспензионная разливка с введением дробинок-микрохолодильников в расплав кристаллизующейся стали относится [1,2] к прогрессивным способам теплофизического воздействия твердых добавок на процесс формирования кристаллической структуры стальных слитков и крупных отливок. Стальные дробинки интенсифицируют процесс снятия начального перегрева жидкой стали. Поэтому подача литой дроби на струю разливаемой стали является эффективным технологическим средством влияния микрохолодильников на ширину структурных зон формирующихся слитков и массивных отливок.

К теплофизическим параметрам управления процессом кристаллизации стали при затвердевании слитка или отливки относятся [3]: температура разливки стали, температурный интервал ликвидус-солидус на диаграмме состояния системы железо-углерод, ширина двухфазной зоны кристаллизации низко- или среднеуглеродистой стали, скорость охлаждения затвердевающего расплава, перепады температуры и температурные градиенты по толщине и высоте стального слитка, непрерывнолитой заготовки или фасонной отливки.

Дендритная структура кузнечных и прокатных слитков с дробью и без дроби отличается по однородности их кристаллического строения и по размерам литого зерна. При введении дробинок-микрохолодильников в объем жидкой стали, перегретой над температурой ее ликвидуса, можно измельчить кристаллическую структуру литого металла, так как в затвердевающем расплаве возникают дополнительные центры кристаллизации.

На количество образующихся в расплаве центров кристаллизации влияют процессы физико-химического и теплофизического взаимодействия стальных дробинок с окружающим расплавом стали в условиях их быстрого нагрева от начальной температуры (20^{o}C) до температуры солидуса и последующего плавления гранул в интервале температур солидус-ликвидус.

Так как литую дробь получают распылением жидкой стали потоком воздуха с закалкой в воде образующихся капель расплава, то в дробинках разного диаметра формируется [2] зеренная структура переохлажденного аустенита. В ши-

роком диапазоне изменения температуры литой дроби при ее нагреве в расплаве зеренная структура дробинок претерпевает различные структурные превращения в твердом и твердо-жидком состоянии литой стали.

В условиях быстрого нагрева в окружающем расплаве литые дробинки могут последовательно проходить разные температурные интервалы фазовых превращений в твердом состоянии углеродистой стали [4]: от исходной мартенситной структуры закалки литой дроби через области метастабильных (неустойчивых) структур бейнита, троостита, сорбита и перлита до более устойчивой (стабильной) структуры аустенита в соответствии с диаграммой состояния Fe – Fe_3C сплавов (система железо – цементит). Когда температура стальных дробинок достигает температуры солидуса в процессе их нагрева и плавления, в зеренной структуре аустенита появляются прослойки жидкой фазы с образованием твердо-жидкой (двухфазной) зоны.

В итоге, в затвердевающем слитке или крупной отливке литые дробинки под действием циркуляционных потоков расплава распадаются (диспергируют) на более мелкие частицы – дополнительные центры кристаллизации [5]. Это способствует измельчению дендритной структуры стальных слитков и отливок, что позволяет повысить физико-механические (прочностные и пластические) свойства литого металла, полученного способом суспензионного литья стали с введением в расплав оптимальной дозы и фракции литой дроби.

Список литературы

1. *Ефимов В.А.* Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. *Затуловский С.С., Мудрук Л.А.* Получение и применение металлической дроби. – М.: Металлургия, 1988. – 182 с.
3. *Соколовская Л.А., Мамишев В.А.* О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве // Процессы литья. – 2009. – № 2. – С. 24 – 29..
4. *Гуляев А.П.* Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.
5. *Сокоповская Л.А., Мамишев В.А.* Моделирование на ЭВМ теплового состояния микрохолодильников в условиях объемной кристаллизации стали // Процессы разливки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов. – Волгоград: Дом техники. – 1990 . – Ч. 1. – С. 63 – 65.

УДК 669.131.7

О. В. Соценко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИЯ И ЦЕРИЯ В ОТЛИВКАХ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Для уточнения характера распределения модификатора между графитом и матрицей, а также в графитных включениях отливок из высокопрочного чугуна на микрозонде «Cameca» было проведено исследование относительной концентрации магния и церия в микрообъемах чугуна в отливках массивных валов на разном удалении от поверхности бочки (рис 1 и 2).

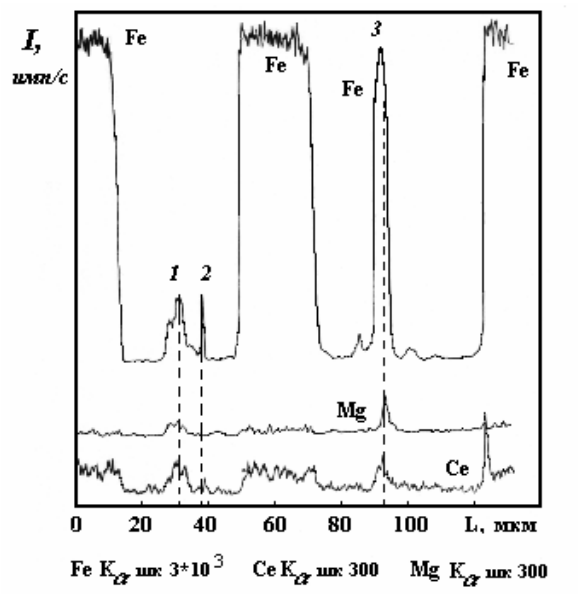


Рис. 1 – Распределение магния и церия в сечении двух смежных включений графита

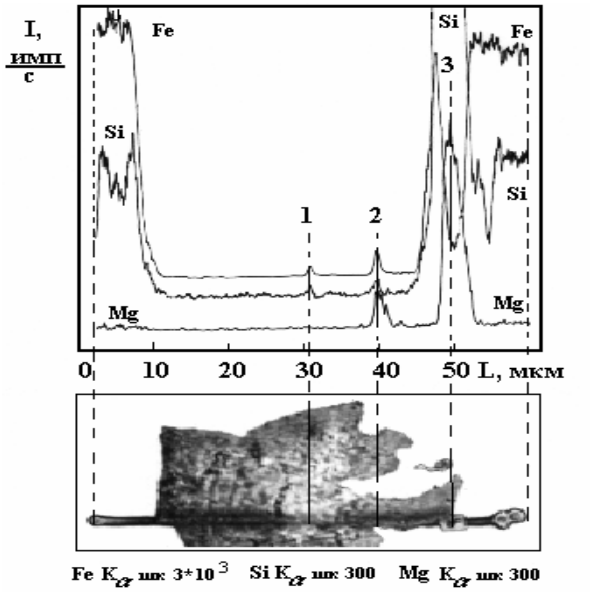


Рис. 2 – Концентрационные пики магния, кремния и железа в сечении включения графита

Одновременно в тех же участках был выполнен сопоставительный анализ содержания Fe и Si. Это позволило установить состав микрообъемов чугуна, в которых наблюдались концентрационные пики модификаторов. Аналогичное исследование было выполнено в микрообъемах цилиндрических образцов с диаметром 1 мм из нелегированного чугуна, закаленных с высокой скоростью из жидкого состояния (рис.3).

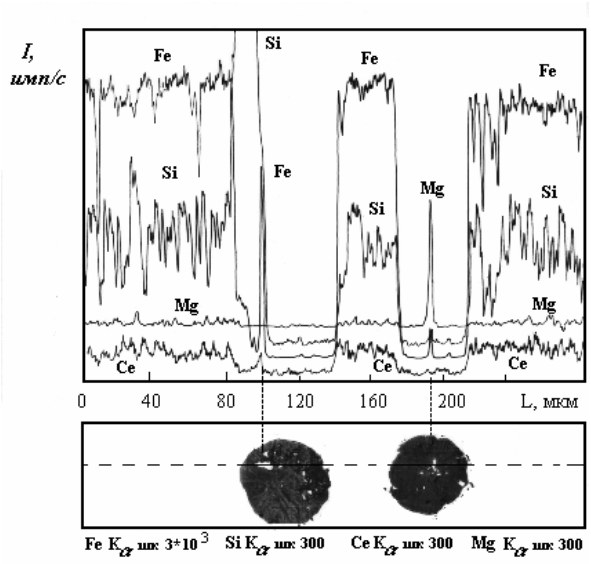


Рис. 3 – Распределение элементов в сечениях двух смежных включений графита

На приведенных рисунках концентрационные профили с повышенным содержанием железа и кремния четко выявляют участки матрицы. Независимо от скорости охлаждения чугуна содержание магния и церия в графите во всех случаях более низкое, чем в металлической основе.

Характерной особенностью кривых распределения магния и церия в пределах графитных участков является наличие на них в большей или меньшей мере выраженных концентрационных пиков, соответствующих центральным и периферийным зонам графитных включений (см. пики 1 - 3 на рис. 1 и рис.2). В то же время на концентрационных кривых большинства включений графита, подвергнутых анализу, таких аномальных пиков не наблюдается. Наличие пиков повышенной концентрации модификаторов особенно в центре включений можно было бы рассматривать как еще одно экспериментальное подтверждение известных гипотез, в которых такая концентрация модификатора является основополагающим фактором. Однако более детальный анализ полученных экспериментальных данных, показывает, что участкам с повышенной концентрацией модификатора соответствуют пики на концентрационных кривых Fe и Si (см. рис. 1 - 2). На концентрационных кривых распределения модификатора в других включениях графита, подвергнутых анализу, таких пиков нет, но и отсутствуют также в сечениях графитных включений участки матрицы с повышенной концентрацией железа.

Выявленный параллелизм в распределении модификаторов и элементов, входящих в состав металлической основы, дает основание утверждать, что повышенная локальная концентрация модификатора в графитных включениях высокопрочного чугуна в действительности обусловлена наличием в их структуре участков матрицы.

УДК 621.74.002.669. 131.7

О. В. Соценко, С. Ю. Афонин
Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОЦЕНКИ ФОРМЫ ГРАФИТА В ЧУГУНАХ

При классификации графитных включений (ГВ) в высокопрочном, ковком и сером чугунах в соответствии с ГОСТ 3443-87 исходят из сравнительной визуальной оценки реальных микроструктур с эталонными изображениями. Такой метод сопряжен с риском субъективности оценок особенно при ограниченном количестве эталонов и огромном многообразии реальных форм ГВ даже в чугунах одного и того же вида.

В последние годы некоторое распространение получили различные компьютеризированные комплексы, предназначенные для металлографических исследований. Известны также попытки использования нейросетевого метода определения количественных характеристик микроструктуры металлов, метода распознавания образов мобильным роботом и ряд других методик, основанных на теории распознавания образов. Однако их разработка находится в стадии опробования и для практического применения они довольно сложны, т.к. требуют весьма трудоемкой стадии «обучения» на больших массивах экспериментальных изображений, шаблонов, эталонов и т.п.

В данной работе проведен анализ эффективности применения различных программных продуктов, используемых при поиске дубликатов и оценке степени схожести цифровых изображений, для определения степени соответствия реальной микрофотографии с ГВ тому или иному эталону ГОСТ 3443-87 для соответствующего вида чугуна.

Для реальной микроструктуры с ГВ компьютерный поиск наиболее похожих изображений-эталонов из ГОСТ 3443-87 весьма сложен при отсутствии искусственного интеллекта. Для того чтобы компьютер смог "увидеть" изображение-эталон и определить степень схожести используются программы с весьма сложными алгоритмами. Опыт разработки таких алгоритмов показывает, что на точность поиска влияет множество факторов, которые необходимо учесть. При этом программа должна быть удобной для оператора со средней компьютерной подготовкой.

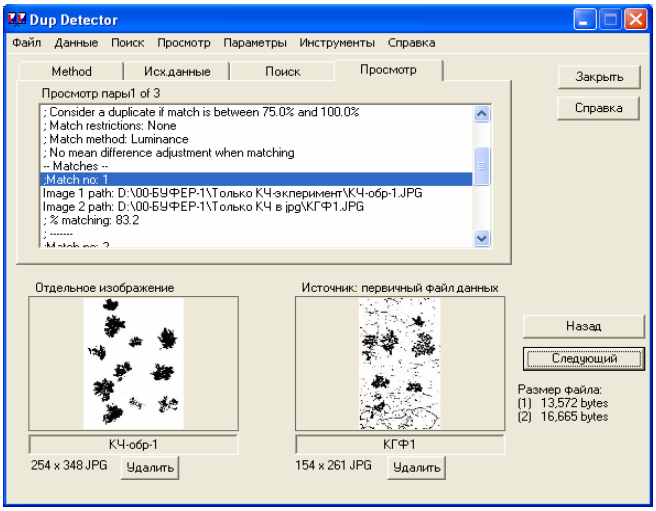


Рис. 1 – Интерфейс программы Dup Detector

На рис. 1 показан интерфейс одной из таких программ (Dup Detector), в которой выполнено сравнение опытной микроструктуры ковкого чугуна с эталоном КГф1 с вероятностью схожести 83%. Результаты применения других программ для такого сравнения опытных микроструктур ГВ с эталонами разных видов чугунов по ГОСТ 3443-87 приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Оценка схожести опытных микроструктур с эталонными

Шифр контрольной структуры графита	Эталон в ГОСТ 3443-87	Похожесть микроструктуры в программах, %				
		Dup Detector v 3.122*	Fast Duplicate Finder 3.7.0.1	Dupe Guru PE**	AntiTwin	SyCMPi
КГ-обр-2	КГф1	82,2	81,9	81,9	70	31
	КГф2	*85,6*	*85,2*	*85,2*	*80*	*66*
	КГф3	80,9	80,6	80,6	71	37
ВГ-обр-1	ВГф1	76,1	76,0	76,0	66	26
	ВГф2	77,6	77,6	77,6	68	27
	ВГф3	*78,0*	*78,0*	*78,0*	*69*	*32*
ШГ-обр-2	ШГф1	< 75	< 75	< 75	<60	38
	ШГф2	*75,6*	*75,6*	< 75	<60	33
	ШГф3	< 75	< 75	< 75	*63*	*69*
	ШГф4	< 75	< 75	< 75	<60	42
	ШГф5	< 75	< 75	< 75	<60	44
ПГ-обр-2	ПГф1	*94,9*	*94,9*	*94,8*	*72*	*45*
	ПГф2	80,0	80,0	79,6	<60	28
	ПГф3	90,7	90,7	90,6	70	45
	ПГф4	< 75	< 75	< 75	<60	20
* Контурные изображения; ** Бинаризированные структуры						

На основании проведенного тестирования серии программ установлено, что все они показывают достаточно высокую эффективность идентификации опытных микроструктур и эталонов ГОСТ 3443-87.

УДК 669.162.275:669-154

В. В. Суменкова

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

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

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ СФЕРОИДИЗИРУЮЩИХ ЛИГАТУР

Эффективность и стабильность результатов модифицирования, в значительной мере, определяется механизмом процесса растворения твердого модификатора в жидком чугуне. Одним из важнейших факторов, влияющих на процесс растворения лигатуры, является её фазовый состав. Фазовый состав модификаторов влияет на кинетику перехода модифицирующих элементов в чугун и, таким образом, определяет результативность действия модифицирования на кристаллизацию и дальнейшее формирование структуры отливок. От фазового состава лигатуры зависит ряд её характеристик: технологичность использования, температура плавления и др.

В процессе взаимодействия лигатуры с жидким чугуном протекают сложные теплофизические и физико-химические процессы, результатом которых является переход активных компонентов в чугун и создание условий для кристаллизации графита шаровидной формы. Для улучшения технологичности использования наиболее активного модифицирующего элемента магния его применяют в виде сплава на основе кремния и железа FeSiMg (ФСМг). В связи со сложностью работы с магнийсодержащими сплавами тройные диаграммы состояния для сплавов типа ФСМг отсутствуют, поэтому фазовый состав лигатур (табл. 1) определяется в основном экспериментально.

На основании определенного фазового состава и зная по двойным диаграммам состояния температуры плавления основных фаз возможно приближенное определение температуры плавления лигатуры по стехиометрическому принципу. В табл. 1 приведен пример расчета температуры плавления лигатуры ФСМг9.

Таблица 1 – Химический состав фаз и расчетная температура плавления лигатуры ФСМг9

№ спектра	Стехиометр. формула соединения	Масс. доля элементов / ат. доля, %					Кол-во, %	Расчетная $t_{пл}$, °С
		Si	Fe	Mg	P	O		
1	$FeSi_2$	55,30 / 71,10	44,70 / 28,90	–	–	—	42,77	1115
2	FeSi	36,48 / 53,29	62,42 / 45,72	–	–	–	7,48	
3	Mg_2Si	34,07 / 30,86	–	64,85 / 67,86	0,57 / 0,47	0,51 / 0,81	33,87	
4	Mg-Si-O	32,51 / 27,09	–	51,60 / 49,67	–	15,88 / 23,24	15,89	

Был проведен расчет температур плавления ряда лигатур, фазовый состав и расчетные температуры плавления которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Химический состав исследуемых лигатур FeSiMg

№ пп	Марка	Химический состав, масс. %						Расчетная $t_{пл}$, °С
		Mg	Ca	РЗМ	Si	Fe	Ba	
1	ФСМг3	3,2	3,0	0,7	55,2	Ост.	2,0	1174
2	ФСМг5	5,3	0,6	0,72	53,2	Ост.	-	1228
3	ФСМг7	7,1	0,54	0,44	54,1	Ост.	-	1310
4	Elmag6000	6,8	0,58	0,85	46,3	Ост.	-	1221
5	VL-69	6,6	2,40	0,45	49,6	Ост.	-	1217
6	ФСМг6	6,2	0,45	0,40	58,2	Ост.	-	1249
7	ФСМг2	2,51	2,8	2,1	62,1	Ост.	-	1268
8	ФСМг7	7,49	0,45	0,72	55,3	Ост.	-	1226
9	ФСМг9	9,40	0,40	-	41,2	Ост.	-	1115

Как показывают результаты расчета, величины температур плавления колеблются от 1115 до 1309°С. В основном же температуры плавления составляют около 1220°С. Самая высокая (1309 °С) и самая низкая (1115 °С) обусловлены содержанием железистых фаз: чем больше железа в фазах, тем выше температура плавления лигатуры.

В работе [1] проводили экспериментальное определение температур плавления ряда ферросплавов, в том числе и магнийсодержащих лигатур типа ЖКМК, т.е. содержащих кроме Mg, Si, Fe ещё и кальций. Определения темпера-

тур проводили под защитными шлаками. Исследовали лигатуры ЖКМК1, ЖКМК2 и ЖКМК6, составы и температуры плавления которых приведены в таблице 3. Температуры ликвидуса для этого ряда лигатур составили 1010, 1170 и 1200^{o}C соответственно.

Таблица 3 - Составы и температуры плавления сфероидизирующих лигатур

Марка лигатуры	Содержание, % (по массе)						$t^{o}_{пл}$, ^{o}C	
	Ca	Mg	РЗМ	Ba	Si	Fe	солидус	ликвидус
ЖКМК1	16,1	12,8	-	-	47,0	21,0	950	1010
ЖКМК2	14,9	9,4	-	-	46,5	27,0	1000	1170
ЖКМК6	7,7	9,4	5,5	3,3	45,2	25,3	1080	1200

Температуры плавления ЖКМК1 и ЖКМК2 более низкие, что можно объяснить наличием в их составе бария. Лигатура ЖКМК6 имеет относительно небольшое содержание магния (3-6%) и, соответственно, большее – кремния и железа, что повышает её температуру плавления.

Сравнение полученных расчетных данных с экспериментальными показало достаточно близкие значения температур плавления сфероидизирующих лигатур. Это позволяет использовать расчетный метод для определения температуры плавления по фазовому составу лигатур.

Список литературы

1. Рябчиков И.В. и др. Ферросплавы с РЗМ и щелочно-земельными металлами / М.: Металлургия. – 1983. – 272 с.

УДК 621.771.11

Н.В. Сусло, В.Т. Калинин

Криворожский национальный университет, Кривой Рог; Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДИФИКАТОРА В ОБЪЁМЕ КОВША НА ТВЕРДОСТЬ И УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ

Эффективность работы шаровых мельниц для помола руды, цемента и других материалов в значительной степени зависит от стойкости мелющих ша-

ров [1,2]. На конвейерно - кокильной установке в условиях ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» проведены эксперименты по модифицированию чугуна нанодисперсными (размер фракции менее 100 нм) модификаторами на основе TiCN, TiC, SiC и B_4C при отливке мелющих шаров Ø 60мм. Модификатор вводили в пакетированном виде на дно ковша. Эксперименты проводили с разным количеством вводимого модификатора – 0,01%, 0,03% и 0,05% от массы жидкого металла. Равномерность распределения модификатора по высоте ковша оценивали по остаточному содержанию основного элемента (Ti Si и B) в пробах, отобранных из верхней, средней и нижней частей ковша при заливке металла в формы. Из анализа полученных результатов установлено, что распределение основного элемента модификатора по объему ковша неравномерно и колеблется от 68.09% до 93.63% в зависимости от расхода модификатора. Наиболее равномерное распределение наблюдается при вводе модификатора TiCN в количестве 0.03% (рисунок).

Исследовали влияние вида наномодификатора и распределение его основного элемента по высоте ковша на свойства отлитых шаров. Для этого производили отбор шаров с разным содержанием модификатора при заливке чугуна сверху, из середины и низа ковша (по 6 шаров с каждой партии). На шарах замеряли твердость и их подвергали испытанию на ударную прочность на специальном копре. Полученные результаты показали, что при повышении количества вводимого модификатора свойства шаров соответственно повышаются: твердость в диапазоне 45 - 51 HRC; ударная прочность - 25 – 33 удара. Наиболее стабильные и равномерные свойства шаров получены в образцах с расходом модификаторов 0,03%, что объясняется большей равномерностью распределения модификатора по объему ковша.

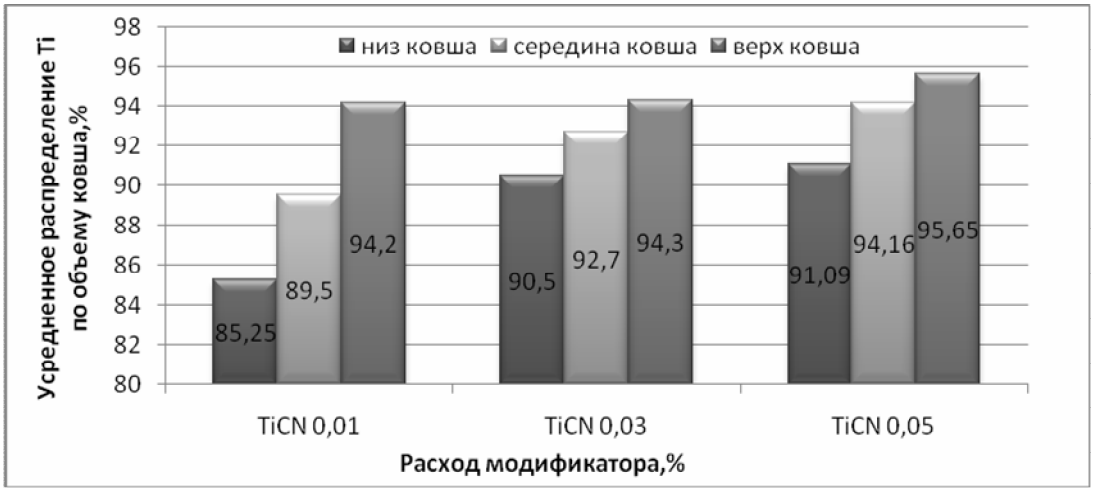


Рис.1 – Распределение наномодификатора TiCN по объему ковша с чугуном

Из рассмотренных модификаторов лучшие свойства с наименьшими отклонениями (твердость 49 - 51 HRC; ударная прочность – 29-32 удара) получены при модифицировании чугуна TiCN с расходом 0,03%.

В дальнейшем проведены эксперименты по введению выбранного модификатора в чугун в виде брикетов «сэндвич – процессом» [3]. Главное преимущество брикет - модификатора заключается в кинетике растворения в расплаве по сравнению с растворением традиционных модификаторов. Уменьшается время растворения с 8…10 до 4…5 мин. при этом наблюдается увеличение усвоения модификатора до 97%, что, соответственно, приводит к повышению основных свойств мелющих шаров (твердость – 58 - 60 HRC, ударная стойкость – 30-33 удара).

Список литературы

1. *Калинин В. Т., Сусло Н. В.* Технологические особенности производства литых шаров повышенного качества // Збірник наукових праць «Вісник Криворізького технічного університету», м. Кривий Ріг, - 2009. – С. 87 – 91.

2. *Калинин В. Т., Сусло Н. В.* Исследования по использованию наномодификаторов при производстве чугунных мелющих шаров // Наукові вісті: Зб. Сучасні проблеми металургії. – 2009. – Т.12. – С.59-65.

3. Учитель А. Д., Калинин В. Т., Сусло Н.В., Михайленко М. В. Технология ввода брикет – модификаторов в чугун для производства мелющих шаров // Нові технології: Науковий вісник КУЕІТУ.- 2008.- №4(22). - С.167-170.

УДК 621.74:539.3

Н.С. Тренёв, О.И. Пономаренко

Харьковский технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Высокий уровень ресурса и надежности при минимальной металлоемкости являются важнейшими системными требованиями, предъявляемыми к отливкам высокого качества. Номинальные значения этих характеристик определя-

ются на стадии конструирования, формируются на стадии реализации технологического процесса и проявляются на стадии эксплуатации. В настоящее время основной тенденцией повышения качества отливок в развитых странах является уменьшение штучной массы и повышение их потребительских свойств. Поэтому конструирование и изготовление для конкретных условий литых деталей минимальной металлоемкости с заданными уровнями ресурса и надежности является актуальной практической задачей литейного производства.

До недавнего времени основным понятием расчета литых деталей машин на прочность и надежность являлся коэффициент запаса прочности детали. В процессе длительного использования концепции запаса прочности выявился ее существенный недостаток, заключающийся в отсутствии адекватной оценки ситуации и реальной оценки надежности детали.

В настоящие время разработана и широко используется на практике статистическая теория усталостного разрушения деталей машин и конструкции, которая позволяет связать предел выносливости детали произвольной конфигурации с ее геометрическими параметрами, свойствами металла и статистическими характеристиками нагрузки на детали.

Для определения характеристики нагруженного сечения литой детали необходимо вычислить относительный градиент напряжений. Для этого находят функции распределения геометрических размеров нагруженного сечения, коэффициент концентрации напряжения (α), периметр рабочего сечения литой детали (L), вычисляется относительный градиент

$$G = \frac{1}{\sigma_{\max}} \left| \frac{d\sigma}{dx} \right|_{x=a}, \qquad (1)$$

где a – координаты точки, в которой напряжения σ достигают максимального значения.

При расчете σ необходимо учитывать несплошности поверхности отливки вызванного дефектами усадочного характера. Для определения дефектов можно применить метод распознавания образов, который позволяет найти места дислокации дефектов и определить их размеры в отливках.

Идея применения метода распознавания образов для формализации процедуры локализации дефекта иллюстрируется рис. 1.

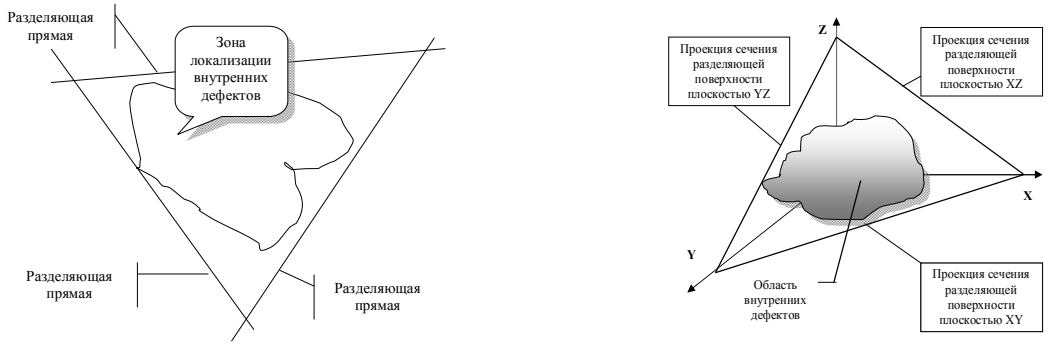


Рис.1

Алгоритм решения задачи методом распознавания образов заключается в следующем:

1. Производим расчет математических ожиданий m^A и m^B классов *A* и *B*, определяющих области существования дефектов в отливке от бездефектной области.
2. Производим расчет плотности распределения вероятностей классов *A* и *B* - $p_A(X)$ и $p_B(X)$ производиться по формулам :

$$P\left(A\middle|x^j\right)=\frac{P\left(A\right)p_A(x^j)}{P\left(A\right)p_A(x^j)+P\left(B\right)p_B(x^j)},$$
$$P\left(B\middle|x^j\right)=\frac{P\left(B\right)p_B(x^j)}{P\left(A\right)p_A(x^j)+P\left(B\right)p_B(x^j)}. \qquad (2)$$

3. Производим расчет условных вероятностей принадлежности *j-го* объекта (координата точки отливки) к классу *A* или *B*

4. Получение классифицирующего правила в виде (3) или (4):

$$x^j \in A \ \ если \ P\left(A\middle|x^j\right)\geq P\left(B\middle|x^j\right),$$
$$x^j \in B \ \ если \ P\left(A\middle|x^j\right)< P\left(B\middle|x^j\right). \qquad (3)$$

$$x^j \in A \ \ если \ F\left(A\middle|x^j\right)\geq y_0,$$
$$x^j \in B \ \ если \ F\left(A\middle|x^j\right)< y_0. \qquad (4)$$

Данные формулы используют для нахождения классов А бездефектной и В дефектной зоны.

5. Распределение классов для бездефектной А зоны и дефектной В.

Представленная методика позволяет более точно производить расчет надежности литых деталей.

УДК621. 74.04:621.746.3

Т. Л. Тринева

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

ОШИБКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 3D МОДЕЛЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Автоматизация современного производста уже давно является одной из первоочередных задач в модернизации машиностроения Украины. Темпы выполнения работ в сжатые сроки и их качество возможно при грамотном и осознанном использовании систем автоматизированного производства. На сегодняший день эта проблема видется актуальной в вопросе повышения конкурентноспособности выпускаемой продукции.

Компьютеризация конструкторских, технологических бюро стала далеко не новинкой на все большем количестве машиностроительных предприятий, однако количество специалистов не владеющих, а понимающих в чем состоит суть построения 3D моделей отливок к сожалению, как показывает практика, на Украине достаточно мало.

Для обеспечения получения качественной продукции необходимо придерживаться следующих правил при проектировании 3D моделей-отливок и литейной оснастки.

- 3D модель отливки должна отражать полностью всю технологию ее получения в производстве, а именно, каким способом литья она получена - литье в кокиль, литье по выплавляемым моделям, литье по газ моделям, литье под давление и.т.д. [1,2]:

- 3D модель должна содержать все уклоны, которые предусмотрены для успешного съема ее с литейной оснастки.

- 3D модель отливки должна отражать все линии разъема с соответствующими литейными уклонами и литейными радиусами.

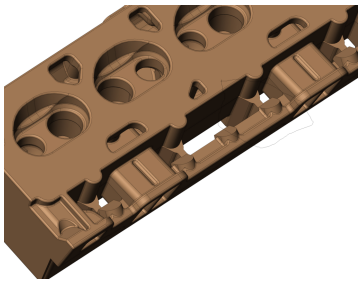
- В местах поднутрений, выступов и т.д. должны быть предусмотрены

площадки для формирования отъемных частей с соответствующими литейными уклонами таким образом, чтобы между радиусами сопрягаемых формообразую-щих поверхностей оставолось несколько мм.

- 3D модель отливки должна быть увеличина на соответсующий коэффициент усадки материала изготовления отливки.

- 3D модель отливки должна обязательно иметь припуски на обработку, соответственно должна быть 3D модель на готовое изделие, получаемое после механической обработки.

- 3D модель отливки не должна содержать острых кромок, которые как известно приводят к трещинообразованию. В таких местах рекомендуется разъем переносить на величину припуска. На Рис.1., Рис.2 отображена 3D модель отливки с типичными ошибками построения.



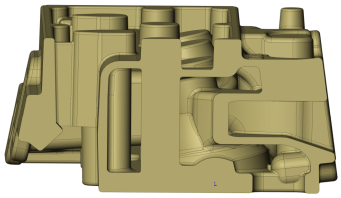


Рис.1, Рис.2 3D Модель на отливку «Головка блока цилиндров»

- Эскиз 3D модели всегда должен быть «завязан», т.е. линии построения должны быть черными, что говорит о том, что для построения данного элемента имеются все размеры. Данное требование позволяет избежать искажения 3D модели в случае какого-либо внесения изменения в дереве построения модели.

Вышеперечисленные требования к построению 3D моделей отливок продиктованы имеющимися замечаниями при проектировании литейной оснастки по предоставленным 3D моделям.

Список литературы

1. Ефимов В.А., Специальные способы литья. М., Машиностроение, 1991. -735с.

2. *Баландин Г.Ф.,* Основы теории формирования отливки. М., Машиностроение, 1980. -256с.

УДК 621.74

М.С. Усиков, Д.А. Дёмин
Национальный технически университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ОСВОЕНИЕ НОВОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ОТЛИВОК НА ЭТАПЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В современных условиях жесткой конкуренции продукции литейного производства первоочередного решения требуют задачи глубокой модернизации литейных цехов, большинство из которых было построено в середине прошлого века. Моральный и физический износ оборудования литейных цехов сегодня таков, что практически не представляется возможным конкурировать с иностранными предприятиями по качеству литья. Более того, рынок требует от предприятий, в которых функционируют литейные цеха, быстрого освоения новых отливок с заданным комплексом свойств. Складывающаяся таким образом ситуация требует решать параллельно двух задач – собственно модернизации и быстрого освоения технологии новых отливок, не входящих в типовую номенклатуру литейного цеха. Именно поэтому научные исследования, направленные на данную тематику, сегодня являются актуальными.

Вопросами реконструкции современного производства занимаются многие исследователи в Украине. Как правило, эти исследования проводятся в нескольких направлениях, среди которых могут быть выделены ниже следующие. Изучается сущность финансово-монетарной реструктуризации, организационно-управленческих нововведений и реинжиниринга, теоретические и методические проблемы управления интенсификацией обновления активной части основных производственных фондов на машиностроительных предприятиях [1, 2]. Рассматриваются вопросы предпосылок реструктуризации отечественных предприятий и методические подходы к осуществлению реструктуризации предприятий за счет разработки соответствующих структурно-логических схем и выявления потенциала машиностроительных предприятий [3]. В ряде работ рассмотрены вопросы технического перевооружения как составляющей части процесса реструктуризации [4].

В статье описаны мероприятия по освоению новых отливок на этапе технического перевооружения литейного производства. В качестве примера не-

скольких технических решений показана технология отливки «тормозной барабан» в условиях модернизации формовочного участка литейного цеха.

Результаты моделирования процессов заполнения формы с разной величиной статического напора приведены на рис. 1.

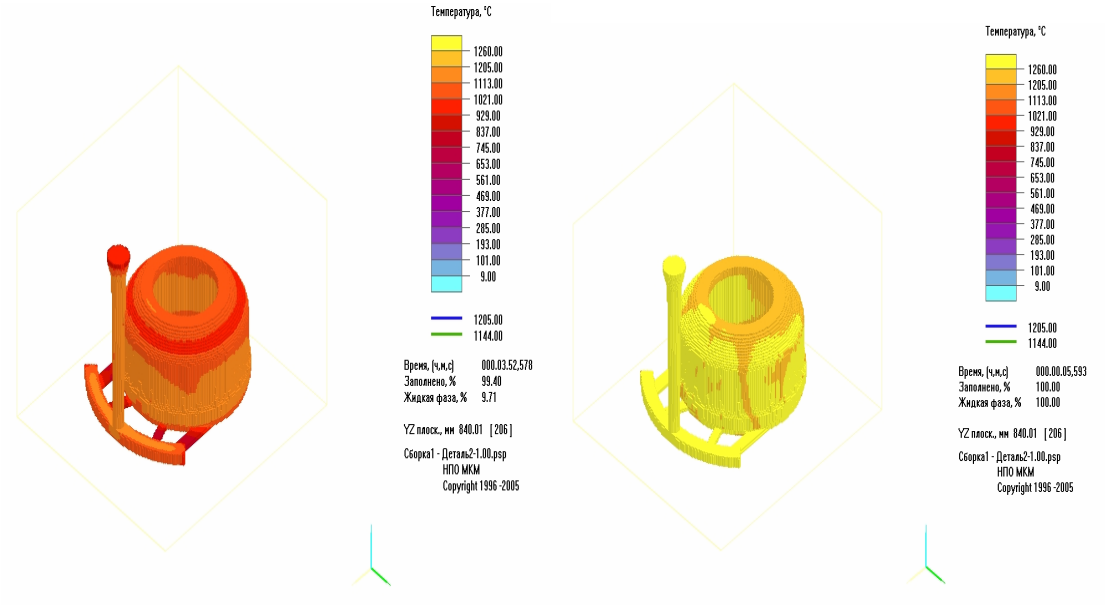


Рис.1 – Результаты моделирования процессов заполнения формы при величине статического напора H=200 мм (слева), результаты моделирования процессов заполнения формы при величине статического напора H=250 мм (справа).

Используя подходы оперативного менеджмента и методы построения оптимальной стратегии технического перевооружения литейных цехов, в сочетании с современными методами компьютерного моделирования и оптимизационным проектированием литейной оснастки, открывается возможность проведения технического перевооружения литейных цехов при минимальных затратах на реализацию соответствующих мероприятий. При таком варианте становится возможным также проведение в полном объеме мероприятий по освоению новых отливок номенклатуры, отличающейся от типовой номенклатуры литья, изготавливаемого в данном цехе.

УДК 621.742

Н.Н. Федоров, М.А. Турчанин

Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск

НОВЫЕ КОМПАУНДЫ ДЛЯ ФОРМОВКИ ПО-СЫРОМУ С МЕНЬШИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В настоящее время для получения качественной поверхности чугунных отливок в песчано-бентонитовые смеси (ПБС) добавляют противопригарные углеродсодержащие материалы или комплексные связующие на их основе. Следует учитывать, что при добавлении традиционных углеродсодержащих материалов (каменноугольных порошков, органических смол, каменноугольного пека) в процессе операций заливки и охлаждения форм в атмосферу литейного цеха выделяется значительное количество вредных газов, а в процессе последующей выбивки имеет место повышенное пылеобразование.

С недавнего времени скандинавское подразделение промышленной группы Sibelco - компания Sibelco Nordic внедрило в литейное производство новую углеродсодержащую добавку Nayvoc®, назначением которой является замена традиционных угольных порошков с целью уменьшения загрязнений окружающей среды летучими органическими соединениями и снижения уровня пылеобразования при работе с отработанными смесями.

В данной работе были поставлены задачи:

- изучить эффективность использования новой противопригарной добавки Nayvoc® в сравнении с известными и хорошо зарекомендовавшими себя формовочными компаундами, например, Antrapur®;

- на основании исследования свойств добавки Nayvoc®, разработать рецептуру компаунда на компонентах отечественного производства, который бы не уступал по эффективности зарубежным аналогам и обеспечил меньший уровень газовыделения и пылеобразования в литейных цехах.

В ходе эксперимента установлены следующие характеристики материала Nayvoc®: выход блестящего углерода – 6,9%; потери при прокаливании – 22,8%; характер коксового остатка, образующегося после прокаливания – прочный, спеченный на 70-80%, с высокой механической прочностью. Показатели механических свойств смеси с Nayvoc® соответствуют всем требованиям, предъявляемым к ПБС для формовки на автоматических линиях.

Показано, что материалы Nayvoc® и Antrapur® в составе лабораторных смесей обеспечивают практически сходные высокие противопригарные свойства – шероховатость стенок технологических проб в зависимости от их толщины - низкая и стабильная: для стенок проб толщиной от 5 до 20 мм – 3,2…6,3 мкм; для стенок от 20 до 40 мм – 6,3…12,5 мкм.

При визуальном наблюдении за залитыми формами было установлено, что газовыделение из форм, изготовленных из смеси с Nayvoc® на 30…40% меньше по сравнению с формами, изготовленными из смеси с Antrapur®.

Сравнивая изменения гранулометрических характеристик смесей после неоднократных циклов их заливки жидким чугуном, установлено, что смесь с материалом Nayvoc® более стабильна в плане сохранения своих первоначальных гранулометрических характеристик: с увеличением циклов литья в исследуемые смеси количество пылевидных фракций (сумма фракций 0,063+0,050+тазик) растет, однако увеличение общего количества пылевидной фракции для смеси с Nayvoc® более чем в 2 раза меньше по сравнению со смесью с Antrapur®.

Таким образом, экспериментальным путем была подтверждена технологическая эффективность применения новой противопригарной добавки Nayvoc® в составе ПБС при формовке по-сырому.

На основании результатов исследования материала Nayvoc®, патентного обзора, а также серии экспериментальных работ, проведенных на кафедре ТОЛП ДГМА, разработана рецептура комплексного связующего материала с противопригарным эффектом на основе бентонитов и углеродсодержащих материалов отечественного производства. Техническим результатом при использовании разработанного комплексного связующего является:

- обеспечение меньшей, а, следовательно, безопасной для здоровья концентрации выделяющихся в атмосферу цеха газообразных продуктов;

- снижение уровня пылеобразования в процессе выбивки залитых форм;

- повышение физико-механических и технологических свойств формовочных смесей;

- получение чугунных отливок без пригара и ужимин с минимальной шероховатостью поверхности.

Применение предлагаемой разработки - нового формовочного компаунда также позволит достичь значительного экономического эффекта за счет замены дорогостоящих импортных материалов Nayvoc®, Antrapur®.

УДК. 691.714.124

Р.С. Федюк

Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток

ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

В настоящее время практически ни одна строительная площадка не обходится без арматуры. Арматура – это изделие, относящееся к сортовому металлопрокату. Выполнена арматура в виде стального стержня, сечение которого выполнено в круглой форме. Широко используется в строительстве в качестве элемента, предназначенного для усиления конструкций, как правило, выполненных из железобетона.

В настоящее время областей применения арматуры очень много. Одна из современных областей применения стальной арматуры – это армирование внутренних пространств пенополистирольной опалубки (технология «изодом» или «термодом») с последующим бетонированием.

История появления арматуры насчитывает не одну сотню лет. Впервые потребность в арматуре возникла при появлении первых насосных систем. И именно тогда появилась первая строительная арматура. Арматуростроение развивалось параллельно развитию народного хозяйства, для транспортировки которого было просто необходимо усиление его основных конструктивных элементов.

Следует отметить, что процесс производства арматуры отличается трудоемкостью. Он проходит под строгим контролем, а при изготовлении соблюдаются требования, указанные в государственных стандартах качества. Благодаря этому изделие отличается высоким качеством и имеет высокие прочностные и эксплуатационные характеристики.

Технология производства арматуры отличается своей спецификой. Изготавливается арматура посредством горячей прокатки специальной заготовки, выполненной из круглой стали. При этом сталь, используемая при производстве, имеет периодический профиль. Такая сталь специально предназначена для усиления обычных, а также предварительно напряженных конструкций, изготовленных из железобетона.

Если раньше арматура не была стандартизирована, то в настоящее время строительная арматура имеет четкую классификацию по технологии изготовления (горячекатаная стержневая и холоднотянутая проволочная), по условиям ис-

пользования в железобетонных конструкциях (ненапрягаемая, напрягаемая), а также по имеющемуся профилю (гладкая и имеющая периодический профиль).

Для арматуры применяется не любая сталь. При изготовлении строительной арматуры в качестве основного сырья, как правило используются низколегированные, а также углеродистые стали. Выпуск осуществляется в стержнях, длина которых варьируется в пределах от шести до двенадцати метров.

технология производства арматуры отличается своей четкостью. Операции по изготовлению арматуры на заводах состоят из приемки и транспортирования арматурной стали, правки, чистки и резки, гибки стержней, сварки сеток и каркасов, гибки сеток и каркасов, сборки. пространственных каркасов и транспортированию готовых изделий на склад. Склады арматурной стали и готовых изделий располагают в отдельном помещении или под навесом- в торце здания. Наиболее распространена агрегатно-поточная технология производства, при которой арматура перемещается от одного поста к другому.

Следует отметить, что в арматурных цехах обычно предусматривается две линии: изготовления арматуры из стали, поставляемой в бухтах (мотках), и из прутковой стали. Для хранения заготовок предусматриваются стеллажи. Проволока диаметром до 10 мм и сталь периодического профиля диаметром до 9 мм поступает на завод в бухтах, арматурная сталь больших диаметров поставляется прутками длиной от 4 до 12 м, уложенными в бухты массой до. 10 т. Готовые сетки для заготовки каркасов поступают плоскими или в рулонах.

Кроме того, складывать арматурную сталь следует раздельно по ее маркам, диаметрам и длине стержней. С целью уменьшения отходов сталь, которая в последующем должна быть разрезана, сортируют по типоразмерам в зависимости от необходимой длины заготовок. Хранение производится в специальном закрытом помещении или под навесом, запрещается складирование арматуры на земляной пол. Заготовка арматурной стали, поступающей в бухтах, производится рабочими завода в автоматических станках, которые одновременно разматывают бухты, выпрямляют прутки и режут их на стержни необходимой длины.

Чтобы арматуры применять в строительстве, необходимо, чтобы она набрала необходимую прочность. Механическое упрочнение стали осуществляют путем волочения, скручивания. При волочении стержень проходит через коническое отверстие и обжимается. Вытяжку арматуры производят усилиями, превышающими предел текучести стали, при этом арматура несколько вытягива-

ется. Способ упрочнения арматуры путем скручивания ее в холодном состоянии вокруг продольной оси оказывается лучшим как в техническом, так и в экономическом отношении по сравнению с другими способами упрочнения арматуры. Механическое упрочнение изменяет структуру металла и способствует повышению предела текучести стали. Предел текучести стали после упрочнения повышается почти на 30%, на столько же можно увеличить напряжение в арматуре железобетона или сэкономить металл, применив стержни меньшего сечения.

Список литературы

1. Степанов И.В. Мобильные здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988

2. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: Учеб. для инж.-экон. спец. строит. вузов– М.: Высш. школа, 1988. – 527 с.

3. ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия – М., 1983

УДК 621.74

А.Н. Фесенко [1], В.Г. Могилатенко [2], М.А. Фесенко [2]

[1]Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

[2]Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ

Традиционная технология получения двухслойных и многослойных отливок с дифференцированной структурой и свойствами в разных слоях методом центробежного литья на практике реализуется путем последовательной заливки во вращающуюся изложницу центробежной машины двух и более разнородных сплавов. Необходимость выплавки и заливки двух разных по химическому составу и свойствам сплавов усложняет и удорожает технологический процесс и является существенным недостатком существующей технологии. На кафедрах технологии и оборудования литейного производства Донбасской государственной машиностроительной академии и литейного произвоства черных и цветных металлов Национального технического университета Украины «КПИ» предложен оригинальный способ получения двухслойных и многослойных от-

ливок с дифференцированной структурой и свойствами в слоях методом центробежного литья из одного исходного расплава.

Идея способа базируется на использовании технологиии внутриформенного модифицирования расплава (INMOLD – process) для воздействия на структуру и свойства отливок и заключается в выплавке исходного расплава в одном плавильном агрегате и последовательной заливке его в виде отдельных порций во вращающуюся изложницу центробежной машины через заливочное устройство, представляющее собой разовую или полупостоянную литейную форму, располагающуюся перед вращающейся изложницей над желобом машины. В заливочном устройстве выполнены независимые (автономные) литниковые системы, количество которых определяется количеством слоев с дифференцированными структурой и свойствами, которые необходимо получить в центробежно-литом изделии. При этом во всех или в части литниковых систем литейной формы предусмотрены проточные реакционные камеры, в которых на пути движения заливаемого расплава размещаются модифицирующие, легирующие или другие добавки для внутриформенной обработки (модифицирования, легирования и т. д.) заливаемых отдельных порций расплава с целью формирования в отливке слоев с разной структурой и свойствами.

В работе на специально сконструированной и изготовленной установке центробежного литья с горизонтальной осью вращения изложницы проведены исследования по получению по разработанной технологии экспериментальных чугунных отливок, наружный слой которых имеет структуру и свойства твердого белого чугуна, а внутренний слой - структуру и свойства сравнительно мягкого и пластичного высокоппрочного чугуна с шаровидным графитом.

В первой серии экспериментов в качестве базового расплава использовали серый чугун эвтектического состава, склонный к кристаллизации с выделением графита в свободном состоянии. При этом первая порция заливаемого расплава, из которой в последствии формируется наружный слой отливки, модифицировалась каридостабилизирующей добавкой, расположенной в реакционной камере первой литниковой системы, а вторая порция для формирования внутреннего слоя отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом – сфероидизирующей добавкой, расположенной в проточной реакционной камере второй литниковой системы.

Во второй серии экспериментов в качестве базового расплава использовали чугун доэвтектического состава, склонный к кристаллизации с отбелом в соот-

ветствии с метастабильной диаграммой состояния. При этом первая порция чугуна, с которой формировался наружный слой отливки, заливалась через первую литниковую систему без какой-либо обработки расплава, а вторая порция для формирования внутреннего слоя отливки при заливке базового расплава модифицировалась сфероидизирующим модификатором, расположенным в проточной реакционной камере второй литниковой системы. В качестве карбидостабилизирующей добавки применяли комплексную лигатуру цериевого мишметалла марки Це48Ла28Мг3, сфероидизирующего модификатора – ферро-силико-магниевую лигатуру марки VL63M.

В результате проведения многочисленных экспериментов была подтверждена возможность реализации предложенного способа, отработаны температурно-временные и другие режимы и параметры процесса литья двухслойных отливок с требуемой дифференцированной структурой и свойствами из одного исходного расплава.

По разработанному способу были получены опытные отливки «Втулка» из чугуна диаметром 100 мм и длиной 250 мм с наружным слоем, формирующимся из белого чугуна с перлито-цементитной структурой. Твердость чугуна в данном слое составляла 380…420 НВ. Внутренний слой отливок кристаллизовался из высокопрочного чугуна с перлито-ферритной структурой и графитовыми включениями правильной шаровидной формы, с твердостью 240…280 НВ.

УДК 621.74

Фесенко Е. В., Косячков В. А., Фесенко М. А.

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

ОПТИМИЗАЦИЯ КАРБИДОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПРИСАДОК ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

При получении белого чугуна как полуфабриката для производства отливок из ковкого чугуна, так и для получения твердого рабочего слоя износостойких отливок приходится снижать содержание углерода и кремния в сплаве, а также повышать скорость охлаждения металла в литейной форме, применением кокилей и уменьшением толщины стенки детали. Проблема достижения надежного и стабильного сквозного отбела в сравнительно толстостенных отливках из более технологического высокоуглеродистого чугуна эвтектического со-

става длительное время оставалась нерешенной. Как это не редко встречается в истории науки и техники именно при решении данной задачи в начале 40-х годов прошлого века был случайно открыт новый материал для отливок – церриевый и магниевый чугун с шаровидным графитом.

В процессе отработки принципиально нового способа производства двухслойных отливок из белого чугуна в рабочем и высокопрочного чугуна в матричном слоях [1-3] пришлось решать ту же самую проблему. По новому способу исходный серый высокоуглеродистый чугун эвтектического состава разделяется в литниковой системе на два потока, каждый из которых проходит через реакционную камеру с модификатором и заполняет соответствующую полость литейной формы. Один из потоков подвергается сфероидизирующему модифицированию по известному Инмолд-процессу. Второй поток подвергается внутриформенному карбидостабилизирующему модифицированию. Предотвращение перемешивания двух потоков достигается установкой разделительной механической перегородки, или паузой между двумя этапами заливки достаточной для кристаллизации твердой разделительной корочки между рабочим или матричным слоями отливки.

В качестве сфероидизирующего заряда реакционной камеры успешно применяли дробленный ферросилиций-магниевый модификатор марки ФСМг7.

Объектом оптимизации карбидостабилизирующей присадки выбрали ступенчатые пробы с сечениями стенок 5, 10, 20, 30, 40, 50 мм и литниковой системой, которая включала реакционную камеру с ребром стенок 4 см. Температуру расплава при заливке подсушенных песчано-глинистых литейных форм варьировали от 1420 до 1520 ^{0}С.

По результатам серии экспериментальных плавок установили, что присадки феррохрома марки ФХ900, металлического марганца марки Мн95 и ферробора марки ФБ18 в исследуемом интервале температур заливки не успевают раствориться в потоке чугуна и не усваиваются металлом отливки.

Наиболее эффективными присадками для карбидостабилизирующей внутриформенной обработки расплава чугуна эвтектического состава оказались те же самые модификаторы, с помощью которых были получены первые отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом – никель-магниевая лигатура марки НМг19 и церриевый мишметалл марки Мг3Це48Ла28. Эти лигатуры достаточно успешно растворяются в потоке расплава за время заливки формы и стимулируют кристаллизацию сплава по метастабильной системе в сечениях

до 50 мм. Структура модифицированного высокоуглеродистого чугуна состояла преимущественно из ледебуритной эвтектики, которая обеспечивает повышение твердости по сравнению с исходным чугуном от 100…120 до 400…440 НВ.

Список литературы

1. Патент № 32662 U 2008 00343, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями // Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. Заявл. 10.01.2008, опубл.26.05.2008. Бюл. № 10, 2008 р.

2. Патент № 42477 U 2009 00188, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями // Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О., Ємельяненко К. В. Заявл. 12.01.2009, опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13, 2009 р.

3. *Фесенко М.А.* Внутриформенное модифицирование для получения чугунных отливок с дифференцированными структурой и свойствами/ М.А. Фесенко, А.Н. Фесенко, В. А. Косячков // Литейное производство. – 2010. - № 1. – С. 7-13.

УДК 621.746.047

А. Ю. Хитько, Л. А. Шапран, Л. Х. Иванова

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЛИТЫЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РОЛИКИ МНЛЗ

Одним из важнейших вопросов для широкого внедрения непрерывной разливки стали является обеспечение машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) рабочим инструментом – роликами, которые являются, по сути, элементом литейной формы (технологической линии) этого способа литья.

Целью работы был анализ причин выхода из строя кованых роликов МНЛЗ.

В основном условия работы роликов в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ характеризуются высокими знакопеременными силовыми и термическими нагрузками из-за циклических изменений температур наружной поверхности бочки при контакте со слябом, имеющим температуру 950…1100^{0}С и высоких механических нагрузок от ферростатического давления. Из-за малой скорости вращения (до 1 об/мин) происходит прогрев бочки на глубину 0,05…0,1 диаметра роликов, что вызывает значительный температурный прогрев роликов.

В связи с малой скоростью вращения роликов возникает большая разница температур поверхности ролика со стороны сляба (450…550^{0}С) и противоположной слябу (80…120^{0}С), значительный перепад температуры по сечению стенки (100…400^{0}С) и длине бочки ролика (до 220^{0}С), а также большой металлостатический напор со стороны затвердевающей непрерывнолитой заготовки (до 8 м). Кроме того, что в процессе эксплуатации роликов по мере удаления от кристаллизатора уменьшаются температурные нагрузки и возрастают механические. Ролики, расположенные вдоль технологической линии в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ, удерживают корочку слитка от ферростатического раздутия. Поэтому их прогибы от воздействия силовых и знакопеременных термических нагрузок в процессе эксплуатации существенно влияют на форму слябовой заготовки и образование в ней дефектов, в частности, трещин. В итоге на рабочей поверхности роликов образуется сетка разгара, появляются кольцевые трещины, износ и налипание материала заготовки. Перечисленные дефекты наиболее интенсивно развиваются после 900…1000 разлитых плавок, что значительно сокращает срок службы роликов. Вынужденные замены роликовой проводки радиального участка зоны вторичного охлаждения (3…4 раза в год) снижают работоспособность и производительность МНЛЗ.

В соответствии с изменением температуры сляба служебные свойства материала роликов 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, т.е. сохранять достаточный уровень твердости, износостойкости и прочности при повышенных температурах.

В настоящее время на слябовых криволинейных МНЛЗ применяют цельнокованые водоохлаждаемые ролики из стали 25Х1М1Ф. Охлаждение роликов осуществляют водой через отверстие диаметром 80 мм, которое в кованых роликах выполняется сверлением. Диаметр отверстия в роликах назначают исходя из условия прочности опорных цапф. Увеличить диаметр отверстия в бочке ролика не позволяет способ их изготовления. Отношение диаметра ролика к его длине составляет 0,071…0,126. Этим объясняется возникновение значительных по величине (до 5х10^{-3} м) прогибов роликов, изменяющих межролико-

вое расстояние по длине технологической линии МНЛЗ и приводящее к снижению качества отливаемых заготовок.

Получение роликов с учетом предъявляемых требований к материалам возможно с использованием для бочки двухслойных или биметаллических центробежнолитых полых заготовок, что позволяет в широких пределах изменить внутренний диаметр бочки в сторону увеличения. При этом изменяются условия охлаждения и прогибы роликов.

Использование центробежнолитых биметаллических заготовок для бочек роликов имеет ряд преимуществ:

– возможность получения биметалла из конструкционных сплавов и сплавов со специальными свойствами;

– возможность подбора коэффициентов термического расширения материалов биметалла;

– получение охлаждаемой полости роликов заданных размеров непосредственно при литье;

– снижение металлоемкости роликов и уменьшение расхода стали.

УДК 620.105: 620.1.08

О. Н. Хорошилов

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

Р. Н. Лавриненко

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ С ЦИКЛИЧЕСКИМ ОБРАТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (Fe-Cu) ЭЛЕКТРОДОВ

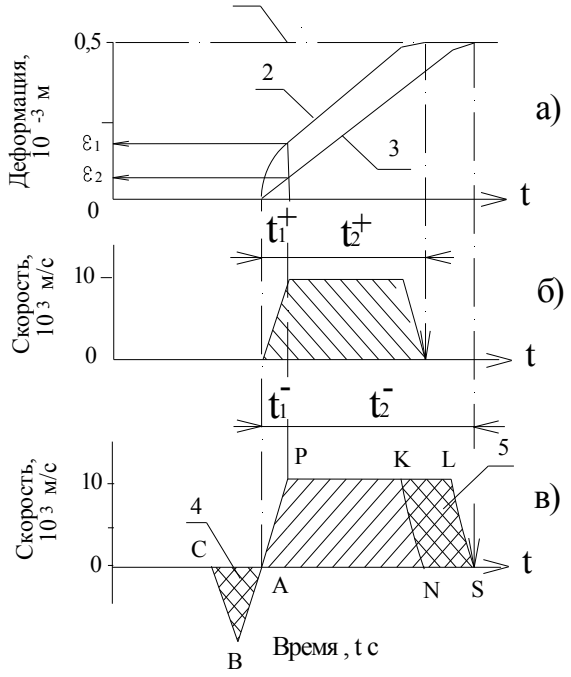
Рассмотрим возможность изготовления на машинах вертикального полунепрерывного литья биметаллических (Fe-Cu) электродов для сваривания железоуглеродистых сплавов. Внутри электрода содержится стальной стержень, а наружная поверхность состоит из меди. Содержание меди в электроде находится в интервале 25…50%.

Для сохранения заданного качества медной части электрода при увеличении производительности машины непрерывного литья, определим технологи-

ческие параметры процесса непрерывного литья, при условии сохранения заданного уровня повреждаемости литой заготовки.

Рассмотрим возможность регулирования повреждаемости непрерывнолитой заготовки за счет изменения направленности движения заготовки во время преодоления ею силы трения покоя (СТП).

На рис. представлены циклограммы работы МНЛЗ б) без применения и в) с применением обратного движения заготовки, а так же а) кривые 1 - 3 для определения характера развития микротрещин в заготовке за время цикла. Анализ кривых 2 и 3 рисунка показывает, что, во-первых, технологический процесс непрерывного литья без применения обратного движения в течение времени $t_1^+ + t_2^+$ вызывает возникновение микротрещин размером 0,5 10^{-3} м – кривая 2 рис., а при применении отрицательного скольжения такой же размер микротрещин в заготовке возникает за время $t_1^- + t_2^-$,



Из рис следует, что площадь треугольника *ABC*, соответствующего величине шага $L^{обр}$ обратного движения значительно меньше площади четырехугольника *NKLS*, физической сущностью которого есть приращение величины шага ΔL прямого движения заготовки до получения микротрещин заданного размера. Поэтому технологический процесс непрерывного литья с применением обратного движения заготовки позволяет увеличить производительность *N* машины непрерывного литья, которую можно рассчитать по выражению:

$$N = \frac{S_{APLS} - S_{ABCD}}{S_{APKN}} \cdot 100\%$$

Таким образом, применение обратного движения во время преодоления СТП позволяет увеличить производительность на 18-25%.

Список литературы

1. *Хорошилов О.Н.* Метод управления качеством поверхности непрерывно-литой заготовки / *О.Н. Хорошилов, О.И. Пономаренко* // Процессы литья. – К.: – 2006. – №4. – С. 47-53.

УДК 621.771.07

В. Е. Хрычиков

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ПОЛОЖЕНИЕ ГРАНИЦЫ ВЫЛИВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА В КОКИЛЬНОЙ И ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ФОРМЕ

Затвердевание сплава и его переход из жидко-твердого в твердо-жидкое состояние, как правило, происходит в интервале температур ликвидус-солидус. При этом происходит «схватывание» кристаллов, увеличивается склонность к образованию усадочных дефектов, горячих трещин и т.д. Прямые методы экспериментального исследования процесса затвердевания отливок включают: выливание жидкого остатка и термический анализ при помощи термопар, установленных в различных точках отливки. Даже для небольших по массе отливок совмещение обоих методов - сложный и трудоемкий эксперимент. Поэтому отсутствуют данные о результатах экспериментов по выливанию жидкого остатка и термического анализа при помощи термопар для массивных отливок из высокопрочного чугуна, охлаждающихся комбинированных кокильно-песчаных литейных формах.

На четырехместном поддоне собирали 4 литейные формы, состоящие из общей сифонной литниковой системы с тангенциальным подводом питателя, нижней песчано-глинистой формы диаметром 350 мм и верхней кокильной формы диаметром 500 мм. Общая масса высокопрочного чугуна, заливаемого в формы, составляла 5100 кг, а химический состав, масс. %: C - 3,04; Si - 2,10; Mn

- 0,48; P - 0,189; S - 0,010; Cr - 0,35; Ni - 1,08; $Mg_{ост}$ - 0,03. После заливки чугуна при температуре 1335 ^{0}C, осуществляли последовательный подъем литейных форм из поддона с помощью мостового крана и выпускание не затвердевшего расплава через 2 мин 25с, 7 мин 40с, 23 мин и 46 мин.

Замер толщины затвердевшего слоя металла при выливании через 2 мин 25с после заливки показал, что по высоте кокильной формы толщина затвердевшего слоя увеличивается с 27 до 30 мм. Это обусловлено тем, что при сифонной заливке в верхнюю часть отливки поступает более "холодный" металл, который теряет теплоту перегрева в литниковой системе, песчаной форме и кокиле. В дальнейшем, через 7 мин 40с, изменение толщины затвердевшего слоя по высоте кокиля практически выравнивается, но через 23 мин происходит опережение продвижения фронта затвердевания в верхней части формы, что обусловлено низкой эффективностью утепления слоем древесного угля.

Изучение металла колец, отобранных из кокильной части литейной формы, показало, что после выливания расплава внутренняя часть отливки представляет собой неровную поверхность без дендритов, с многочисленными наростами металла, которые можно сравнить с "холмистой поверхностью". Высота наростов металла незначительно возрастает с течением времени: с 1...4 мм через 2 мин 25с до 1...4,4 мм через 7 мин 40с и 1,9...6 мм через 23 мин. В дальнейшем происходит увеличение двухфазной зоны затвердевания, что затруднит фильтрацию расплава в междендритные пространства и может привести к нарушению питания усадки.

В нижней части отливки, охлаждение которой происходит в песчаной форме, через 2 мин 25с обнаружена корочка металла неравномерной толщины. Внутренняя поверхность ее также напоминает "холмистую поверхность" с выступами (группами дендритов) округлой формы. Количество таких выступов достигает 900-950 шт/м^2 на внутренней поверхности образцов с толщиной стенки более 4...5 мм. Концентрационное переохлаждение обусловливает опережающий рост дендритов и образование двухфазной зоны. Но как происходит опережающий рост относительно больших групп дендритов остается непонятным. Даже в плоском сечении на темплетах видна неравномерная толщина затвердевшего слоя по радиусу отливки. Формирование таких макроструктурных "надрезов" может быть одной из причин образования горячих кольцевых трещин в части отливки, охлаждающейся в кокиле.

Установлено расплавление (через 7 мин 40 с) в песчано-глинистой форме ранее затвердевшего слоя высокопрочного чугуна толщиной 3,5…6,0 мм. Только при выливании через 23 мин слой затвердевшего металла составил 2,7…6,5 мм.

Ускоренное затвердевание части отливки Ø 500мм, охлаждающейся в кокиле, по сравнению с ниже лежащей частью отливки Ø 350мм, охлаждающейся в песчано-глинистой форме, нарушает питание усадки и обусловливает образование усадочных дефектов. Установлено несимметричность процесса затвердевания по радиусу отливок из высокопрочного чугуна в комбинированной кокильной и песчано-глинистой литейной формах, описаны причины этого явления.

УДК 621.745.56: 621.3.017.71.

В. Н. Цуркин А. В. Иванов, С. С. Череповский

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ЭЛЕКТРОТОКОВОЕ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕ РАСПЛАВА

Качество любого металла в значительной степени зависит от процессов формирования его структуры при переходе из жидкого состояния в твёрдое, но в определенных условиях теплоотвода. Последнее обстоятельство (особенно для больших масс металла) играет ключевую роль в формировании показателей свойств литого металла. И если для одних сплавов и технологических процессов выплавки и разливки необходимо обеспечивать как можно более высокую скорость кристаллизации, то для исходных данных важно обеспечить выравнивание температуры в объеме металла и (или) выдержку заданной температуры с задаваемой скоростью охлаждения.

Цель данной работы – показать функциональные возможности электротокового способа выравнивания температуры в объёме охлаждаемого сплава с заданной скоростью.

Преимущество электрического тока для достижения указанной цели заключается прежде всего в том, что кроме возможности подогрева с помощью Джоулева тепла изнутри расплава, можно, используя разные варианты конфигураций неоднородного электрического поля в объекте обработки, добиваться в его объёме выравнивания температурных градиентов.

В работе для лабораторных исследований использован чистый алюминий, который плавили в шахтной термопечи,в графитовом тигле. Масса одной порции металла в эксперименте составляла 150 грамм.

Охлаждение после выплавки при 740^{o}C осуществляли как в печи с отключенными от источника тока ТЭНами, так и вне печи в условиях естественного охлаждения на воздухе.

Ток в расплав подводили с помощью титановых электродов, которые были выполнены в виде прутков диаметром 3 мм и подключались к источнику постоянного тока. Диапазон исследованных амплитуд тока составлял от 50 до 150А. Температура расплава регулировалась хромель-алюмелевыми термопарами и терморегуляторами ТК-4К. Термопары размещались у зеркала расплава и у днища тигля. Исследован температурный интервал охлаждения от 720 до 650^{o}C.

В указанных пределах варьируемых параметров получены данные, которые показывают функциональную возможность кондукционного электрического тока снижать скорость охлаждения в несколько раз, поддерживать заданную температуру, распределенную равномерно в объеме расплава (по высоте металлического столба), или же дополнительно прогревать расплав от определённых температурных значений массы металла. Практически для всех варьируемых параметров выравнивание температуры в условиях эксперимента по высоте расплава осуществляется за 20 секунд.

Используя теорию размерностей и подобия, в работе предложен безразмерный параметр, учитывающий параметры нагружения, массу металла и его физические свойства, определяющие нагрев и теплопередачу.

$$Const = \frac{I^2 \cdot R \cdot \tau^2}{M \cdot D}, \qquad (1)$$

где: I-Сила тока; А;

R- сопротивление металлического образца; Ом;

□ – время обработки;с;

M – масса металла; кг ;

D –коэффициент температуропроводности; м^2/с.

В других терминах масштабный фактор (1) примет вид

$$Const = \frac{j^2 \cdot \sigma \cdot \tau^2}{\rho \cdot D}, \qquad (2)$$

где: j – плотность тока ; А/м^2;

σ – удельное сопротивление расплава; Ом ;

ρ – плотность расплава; кг/м^3.

Полученные результаты свидетельствуют о широких функциональных возможностях Джоулева нагрева при кондукционной обработке расплава выравнивать температурные градиенты в его объеме и обеспечивать заданную скорость охлаждения. Кроме того, обработка расплава электрическим током является активным инструментом для формирования более благоприятной структуры литого металла, которая обеспечивает повышенные значения его свойств [1].

Список литературы

1. *Иванов А.В., Синчук А.В, Цуркин В.Н.* Электротоковая обработка жидких и кристаллизующихся металлов в литейных технологиях // Электронная обработка материалов, 2011. – №47(5), – с.89-98.

УДК 669.15.018:25-194

Щеглов В. М., Примак И. Н., Кондратюк С. Е., Пархомчук Ж. В.

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

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ

Исследование места ЩЗМ (в основном Са) в производстве стали с возможностью регулирования состава, морфологии, количества неметаллических включений (НВ) интенсивно начали изучать с начала 1970 г., в основном для решения следующих задач:

- улучшения механических свойств по толщине проката;
- снижения чувствительности трещинообразования при нагреве, особенно в зонах термического влияния сварных швов;
- понижения чувствительности высокопрочных сталей для магистральных трубопроводов к водородному охрупчиванию в кислотной, газовой или нефтяной средах.

Раньше указанные металлургические требования частично удовлетворяли за счет обработки жидкой стали редкоземельными элементами, алюминием и др., однако повышенная загрязненность НВ, в т. ч. цериевая неоднородность, не всегда позволяли решать поставленные перед металлургическим производством задачи. Отличием активных элементов РЗМ, способных глубоко связы-

вать вредные примеси в стали с последующим их удалением, от ЩЗМ заключается в их способности растворяться в жидкой стали или превращаться в газообразные компоненты с различной величиной упругости пара (парциального давления). Например упругость пара при 1600 °С составляет для Се, Са и Mg соответственно 0,23; 182 и 1782 кПа, а растворимость Са в жидком железе высокой чистоты при 1600 °С и давлении 100 кПа составляет всего 0,0165 %. РЗМ же например Се, La полностью растворяются в жидкой стали, и ограниченно в твердой – 0,1% при комнатной температуре. Избыток Се не связанного с О и S может выделяться по границам зерен вплоть до образования эвтектики. Кроме того Се способен образовывать с Fe химические соединения – $CeFe_5$ и $CeFe_2$ снижает его активность в жидкой стали и реакционную способность. Замена РЗМ на сплавы Са (SiCa, FeCa, AlCa и др.) ковшевой обработке позволила не только повысить чистоту стали по НВ, но и устранить проблемы с разливкой раскисленных Al низкоуглеродистых сталей на МНЛЗ (закупорка разливочных стаканов), за счет перевода высокотемпературных включений глинозема (Al_2O_3) в жидкие алюминаты Са.

При этом при вводе Са в жидкий металл ковша протекает реакция:

$$Ca\ (ж) \rightarrow Ca\ (г) \rightarrow [Ca];$$

$$[Ca] + [O] \rightarrow CaO;$$

$$[Ca] + [S] = CaS;$$

$$[Ca] + [Al_2O_3] = CaOx{\cdot}Al_2O_3 + [Al].$$

Усиление глубины раскисления стали алюминием при вводе Са объясняется снижением активности глинозема вследствие превращения глиноземных включений в алюминаты кальция. При этом высокая сопротивляемость водородному растрескиванию высокопрочных низколегированных сталей обеспечивается не только за счет снижения концентраций кислорода и серы в металле, но и образованию комплексных включений Ca(Mn)S на поверхности включений $CaOx{\cdot}Al_2O_3$, а не MnS во время охлаждения и затвердевания стали. Такой способ управления составом и морфологией сульфидных и оксидных включений существенно улучшает многие металлургические и служебные свойства металлопродукции.

При наличии в стали алюминатных включений кальция и отношении в стали Ca/S = 1,1 – 1,25 содержание кислорода может быть снижено до < 10-12 ppm, и такую сталь можно считать чистой или даже сверхчистой. Практикой доказано, что широкое применение технологии обработки стали Са – содержащими мате-

риалами позволяет в последние 2-3 десятилетия говорить о значительном качественном скачке сталеплавильного производства и укреплении его достойного места в конкурентной борьбе с альтернативными процессами и материалами.

УДК 669.715:693.5:621.743

Щерецкий В.А., Щерецкий А.А., Затуловский А.С.

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

АЛЮМОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, УПРОЧНЕННЫЕ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Канонические методы физического материаловедения, такие как легирование, модифицирование, термическая и термомеханическая обработка, практически исчерпали свои возможности повышения работоспособности металлических материалов, предназначенных для эксплуатации в тежелонагруженных ответственных узлах трения современной техники. Поэтому в последнее время все более возрастает интерес к композиционным материалам различного типа и назначения.

Данная работа направлена на создание промышленных технологий получения алюмоматричных КМ армированных дискретными частицами, а также изучение и оптимизацию комплекса их свойства [1]. В мире до сих пор не существует эффективных литейных технологий ввода ультрадисперсных и наноразмерных экзогенных частиц в металлическую матрицу. Наноразмерные частицы при взаимном контакте активно агломерируются, поэтому их введение в металлические расплавы и обеспечение при этом равномерного распределения и недопущения взаимодействия важная технологическая задача. [2].

Для ввода экзогенных частиц использовали оригинальную технологию основанную на методе вакуумно-компрессионной пропитки порошковой смеси в литейной форме, объединяющая преимущества литейных и порошковых подходов. Основная идея разработанной технологии заключается в пропитке металлическим расплавом формы содержащей порошковую смесь, в состав которой входит порошок базового сплава и упрочняющие частицы. Для введения ультрадисперсных и наноразмерных частиц их механически или химико-термическим методом наносят на порошок базового сплава Наноразмерные

частицы осаждаются на алюминиевый порошок из рабочей суспензии в ультразвуковом поле с последующей сушкой и механическим перемешиванием в течение 4 часов. Пропитку порошковой смеси расплавом производят без предварительного прессования или спекания.

В работе наноразмерные порошки получали электрофизическими методами: методом электрического взрыва проводников (ЭВП) и методом электроискрового диспергирования (ЭИД). Эти методы позволяют, изменяя технологические условия получения наночастиц: рабочую среду, величину электрического напряжения, длительность импульса, и т.п., направлено влиять на структуру, химический состав и морфологию частиц (форму, размер и распределение по размерам) [3,4]. Высокодисперсные частицы помощью ультразвукового диспергатора УЗДН-2М наносили на порошки алюминиевых сплавов (А7, АД31, АК7, АК12 АК12М2МгН) с последующими сушкой и механической фиксацией, препятствуя их агломерации. Матричные сплавы подбирали таким образом, что бы минимизировать возможность взаимодействия с частицами в процессе получения КМ, основными сплавами являлись АК7 и А7.

Триботехнические исследования проводили на машине трения МТ67 в паре трения со стальным контртелом в условиях сухого трения, скорость трения составляла 1 м/с, а время приработки 30 мин. Исследование влияния наноразмерных частиц триботехнические свойства проводили с использованием фуллереновых луковичных наноструктур углерода (ЛНУ) размером до 500 нм, которые вводились в качестве твердой смазки Наибольшую износостойкость показали образцы с карбидами вольфрама и молибдена. При этом ввод карбида вольфрама в количестве 1-3 мас. % снижает коэффициент трения с 0,29 до 0,21, а износостойкость повышается в 5-25 раз.

Список литературы

1. *Затуловский А.С., Косинская А.В., Шарай Е.В. и др.* Триботехнические характеристики и перспективы применения экономноармированных композитов на основе алюминиевых сплавов. Материалы 22-й ежегодной Международной научно-практической конференции «Композиционные материалы в промышленности». – Ялта: Славполиком. - 2002. – С. 38 – 39.

2. *Щерецкий А.А., Затуловский А. С., Щерецкий В.А.* Консолидация микро-нано объектов как способ полученияалюмоматричных композиционных материалов с комплексной композиционной составляющей / Спеціальна металургія, вчора,

сьогодні, завара // Матеріали X Міжнародної конференції. – Київ: КПІ. - 2012. – С. 406 –409.

3. *Шпак А.П.* Кластерные и наноструктурные материалы / *А.П. Шпак, Ю.А. Куницкий, В.Л Карбовский* – Киев: Академпериодика. - 2001. – Т 1. - С. 587.

4. Малые металлические частицы: способы получения, атомная и электронная структура, магнитные свойства и практическое использование/ *Чуистов К.В., А.П. Шпак, А.Е. Перекос* [и др.] // Успехи физ. мет. – 2003. - № 4. – С. 235 -269.

УДК 669.18.003:669.168

Е. А. Ясинская, В. Н. Костяков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СВОЙСТВА ХРОМИСТОГО ЧУГУНА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРРОХРОМА И ОТВАЛЬНОГО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА

В последние годы интенсивно ведутся работы по созданию высокоэффективных технологий получения лигатур и сплавов из оксидосодержащих материалов. В основу разрабатываемых технологий положен метод жидкофазного восстановления металлов в процессе плавки. Эффективность этого направления подтверждена данными многочисленных исследований.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработаны технологии получения лигатур и сплавов из гальваношламов, металлургических шламов и шлаков, отработанных катализаторов, золы ТЭС и др.

В настоящей работе изложены результаты исследования структуры и свойств хромистого чугуна, выплавленного с использованием феррохрома и лигатур, полученных из отвального электросталеплавильного шлака.

Чугуны немарочного состава выплавлялись с использованием в шихте марочного чугуна и 10-30 % лигатур, полученных из отвальных электросталеплавильных шлаков.

Также выплавлялся чугун марки ЧХ1Л из марочного чугуна, феррохрома и лигатуры, полученной из отвального электросталеплавильного шлака.

Изучено поведение кислорода и азота при выплавке чугуна в зависимости от содержания лигатуры в шихте. Так, увеличение содержания лигатуры в шихте

от 10 до 30 % повышает концентрацию кислорода в чугуне в 1,8 раза. При этом концентрация азота увеличивается от 0,065 до 0,091 %.

Выявлены особенности структуры и фазовый состав чугунов, которые имеют особенности по сравнению с марочными чугунами.

Испытания на износ показали, что чугун ЧХ1Л, выплавленный из лигатур и ферросплавов имеют практически одинаковые показатели.

Выполненные исследования показали, что использование лигатур для выплавки хромистого чугуна обеспечивает высокое качество и свойства чугуна.

УДК 621.74

В. В. Ясюков, Колесник К.

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

КИНЕТИКА ПРОПИТКИ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Многие эксплуатационные свойства отливок зависят от характеристик поверхностного слоя – структуры, шероховатости и др. С целью управления параметрами поверхностного слоя использовали пористые металлокерамические оболочки, устанавливаемые в форму и заливаемые жидким металлом. Пористая оболочка представляет собой простейшую композицию металл – воздух и относится к категории фиктивных пористых сред, являющих собой упрощенную модель реальных пористых сред. Они позволяют в первом приближении оценить строение пор и характер течения жидкости в порах.

Теоретическое описание кинетики пропитки базируется на классической гидродинамике вязкой жидкости. Самопроизвольное движение смачивающей жидкости в цилиндрическом капилляре, расположенном под углом β к горизонту можно представить в виде уравнения скорости движения

$$\upsilon = \partial l / \partial \tau = (r^2 \gamma_ж / 8 \eta) [(2\sigma_{ж\text{-}г} / \rho \gamma_ж l) - g \sin \beta], \quad (1)$$

где, l – длина столба жидкости в капилляре; τ – время; η – коэффициент динамической вязкости жидкости; r – радиус капилляра; ρ – радиус кривизны мениска.

На практике, при спекании оболочек, капилляры чаще всего имеют произвольную форму. Тогда

$$Y = \partial l / \partial \tau = (r^2 \gamma_ж / 8 \eta) \partial \psi / \partial l, \quad (2)$$

где $\partial\psi/\partial l$ – градиент избыточного капиллярного потенциала.

При использовании тонких оболочек (т.е. жидкий металл проходит небольшое расстояние под действием капиллярных сил) величиной g sin β можно пренебречь

$$\upsilon = \partial l / \partial \tau = p_к d^2_{эф} / 32 \eta l, \quad (3)$$

где – $d_{эф}$ – эффективный диаметр капилляров; $p_к$ – капиллярное давление.

Экспериментальные данные по кинетике самопроизвольной пропитки показывают, что в большинстве случаев продвижение стынущей жидкости в пористом теле подчиняется степенному закону

$$l^n = к \tau, \quad (4)$$

где l – длина пропитанного слоя; n и к – постоянные; в случае ламинарного течения жидкости n = 2 и $к = \sigma_{ж\text{-}г} \cos\theta \, r/2 \eta$.

Рассмотренная модель пропитки позволяет оценить практические возможности технологии получения композиционных отливок с качественным соединением пористых оболочек, как – то:

– соотношение толщины стенки отливки и толщины оболочки;

– размеры зерен металлического порошка и параметры спекания;

– смачивание, растекание и капиллярное давление в системе матричный жидкий металл – пористая оболочка.

Список литературы

1. *Ясюков В.В.* и др. Совершенствование технологии пропитки металлокерамических заготовок // ОЦНТИ. – 1993. – № 93. – С. 24.

2. *Тучинский Л.И.* Композиционные материалы, получаемые методом пропитки // М.: Металлургия. – 1996. – 208 с.

3. *Бальшин М.Ю.* Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна // М.: Металлургия. – 1982. 336 с.

УДК 621.74

В. В. Ясюков, М. П. Тур, А. И. Луженецкий

Одеский национальный политехнический университет, Одесса

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОЦЕССАМИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ И СВОЙСТВАМИ ОТЛИВОК

Принято считать, что свойства стали после кристаллизации зависят от количества, формы и характера распределения неметаллических включений, а также от газонасыщенности. Эти факторы связывают также с технологическими свойствами жидкой стали, в частности, жидкотекучестью, имеющей большое значение для производства отливок.

Влияние технологии плавки стали на ее свойства особенно ощутимо при сопоставлении свойств кислой и основной стали. Сравнение механических свойств показывает, что пластические характеристики стали основной плавки (относительное удлинение, сужение, ударная вязкость) значительно выше, чем у кислых; прочностные характеристики (предел прочности, предел текучести, твердость) стали кислой плавки выше, чем у основных.

Большинство литейщиков и металловедов считают причиной такого различия повышенное содержание серы и фосфора в кислой стали, что противоречит высоким значениям прочности в этой стали. Таким образом, выводы об отличиях свойств этих сталей, основанные на влиянии различных по характеру, величине и расположению неметаллических включений, не всегда корректны. Резкое ухудшение пластичности, наблюдаемое при вводе алюминия в кислую сталь в сравнении с основной сталью, также нельзя объяснить влиянием неметаллических включений, так как количество включений глинозема в основной стали больше, чем в кислой при одинаковом остаточном количестве металлического алюминия, определенного химическим анализом в готовой отливке. Поэтому, влияние метода выплавки на свойства жидкого и твердого металла не может быть объяснено только ролью неметаллических включений и газов.

Основными различиями свойств кислой и основной сталей являются: более высокая прокаливаемость кислой стали в отличие от основной; устойчивость против отпуска кислой стали значительно выше, чем основной; закалка отливок, полученных из кислой стали дает значительно меньшую пластичность; восприимчивость к отпускной хрупкости у кислой стали выше, чем у основной; отливки из кислой стали более чувствительны к образованию закалочных тре-

щин, чем отливки из основной стали. Эти различия свойств прослеживаются при рассмотрении микроструктуры: в кислой электростали (плавка с частичным восстановлением кремния или кремневосстановительного процесса) карбиды, как перлитная составляющая, имеют пластинчатую форму, поля феррита резко очерчены. В основной стали (при плавке под карбидным шлаком) форма карбидов зернистая, границы феррита не имеют резких очертаний, в ферритных включениях присутствует большое количество зерен карбида. Следует отметить, что получить зернистые карбиды в кислой стали, а также карбиды пластинчатой формы в основной стали можно различными видами термообработки, однако зернистую структуру в основной стали получить значительно легче, даже при обычном отжиге отливок, что практически невозможно для кислой стали.

Исходя из вышесказанного, необходимо констатировать наличие физико-химических факторов, влияющих на форму структурных составляющих, являющихся “модификаторами” структуры и определяющих механические и литейные свойства отливок. К числу таких факторов можно отнести наличие коллоидно-дисперсных поверхностно-активных веществ, изменяющих характер процесса формирования кристаллической структуры. Доказательством этому может служить тот факт, что чистая синтетически выплавленная сталь (например, методом ЭШП) имеет в структуре зернистые карбиды, что является естественной формой перлита, И, наоборот, пластинчатая форма карбидов есть следствие модификации, вызванной избирательной адсорбцией коллоидно-дисперсной поверхностно-активной составляющей стали, которая образовалась в процессе плавки. Исследования формирования структуры стали в процессе ее выплавки и кристаллизации в литейной форме показывают, что изменение формы структурных составляющих стали различной выплавки, а, следовательно, механических и технологических свойств происходит под влиянием высококремнистых силикатов, образующихся при раскислении стали, либо за счет насыщения ванны кремнеземом из кислой футеровки в процессе плавки.

УДК 621.742.22

Ю.А.Свинороев, В.И. Потапов

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Луганск

НОВЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Актуальность. В настоящее время, научные разработки, в области повышения ресурсоэффективности использования формовочных материалов, в частности литейных связующих, посвящены совершенствованию уже имеющихся композиций. Это реализуется за счет введения, каких-либо активных химических компонентов (пластификаторов, активаторов, катализаторов, отвердителей и т.д.), что технологически совершенствует производство, но не решет существа проблемы.

Альтернативные решения могут быть найдены за счет расширения использования продуктов, а вернее отходов, переработки растительного сырья.

Цель исследований. Исследования проводились с целью доведения связующей способности лигниносодержащих материалов, в частности технических лигносульфонатов (ЛСТ), до уровня высокоэффективных связующих материалов и стабилизации их свойств, с последующей возможностью адаптации получаемой связующей композиции до требования конкретного технологического процесса производства отливок.

Достижение указанной цели требовало решения следующих задач: анализа технологий переработки растительного сырья; поиск способов повышения связующей способности ЛСТ; изучения возможностей применения модифицированных ЛСТ; оценки эффективности полученных результатов.

Результаты исследования. Проведем анализ технологий переработки растительного сырья. Они, как правило, направлены на извлечение, экстрагирование «полезной» массы растения, что по существу сводится к разрушению природной полимерной матрицы и отделения «продукта» от «балласта». На долю «балласта» приходится от 30 до 40 % исходной массы. Яркими, наиболее масштабными, примерами таких технологий могут служить технологии производства целлюлозы и сахара. Для этих производств характерно то, что генерирующиеся крупнотоннажные отходы на 85-90% (в пересчете по «сухому остатку») состоят из продуктов термохимического разрушения природного полимера - лигнина, выполняющего в растении функции связующего. Поэтому, целесообразно исполь-

зовать эти отходы по их природному назначению - в качестве сырья для разработки новых связующих материалов. В случае с производством целлюлозы это *технические лигносульфонаты* (ЛСТ), а при производстве сахара это *патока.* Оба продукта (отхода) в разной мере обладают связующей способностью. Второе (патока) востребовано в большей мере, но в качестве кормовых добавок в животноводстве, а первое (ЛСТ) используют и в качестве связующего, но всего лишь на 5-7% от вырабатываемых объемов, хотя их объем генерирования по странам СНГ, составляет примерно 3 – 3,3 млн. тонн в год. Такая цифра соизмерима с общими масштабами потребления связующих материалов в этих странах. А дисбаланс в применении объясняется низкой связующей способностью и не стабильностью свойств ЛСТ.

Рассмотрим способы повышения связующей способности ЛСТ. К наиболее эффективным относятся методы комплексного воздействия. Их сущность состоит в следующем:

1) ЛСТ подвергаются *модифицированию – комбинированному* воздействию, состоящему во внесении в определенных пропорциях химических компонентов комплексного действия, позволяющих инициировать процессы образования трехмерной полимерной сетки, что обуславливает существенное (на порядок) увеличение связующей способности получаемых композиций; и в последующей температурной обработке состава, с целью гомогенизации композиции, для обеспечения стабилизации ее свойств.

2) для облегчения и ускорения процессов структурообразования необходимо создать активные центры инициации полимеризационных процессов, что достигается обработкой ЛСТ на высокоэнергетических дезинтеграторных установках.

Это даёт возможность адаптировать получаемые связующие композиции к условиям различного производства и обеспечивает всевозможные требования различных технологических процессов литья.

Проведем оценку эффективности полученных результатов. Предлагаемая разработка позволяет повысить связующую способность ЛСТ С 0,03-0,05 МПа/% до 0,5-0,7 МПа/%, что соизмеримо с наиболее эффективными связующими материалами, такими как синтетические смолы, для которых этот показатель составляет 0,5- 0,9 МПа/%. При этом, стабилизируются основные технологические свойства связующего, что делает не нужными работу по адаптации каждой, вновь привозимой, партии связующего на предприятие (это являлось одним из основ-

ных факторов отказа от использования ЛСТ). Сезонные факторы перестали играть решающую роль во влиянии на свойства материала.

Возможно снижение цикла отверждения от 30 до 50 %, а также использование предлагаемых композиций в процессах, где ранее лигносульфонатное связующее не применялось вообще (отверждение стержней в «грячих ящиках», в технологических процессах литейного производства).

Получаемые композиции по экологическим показателям превосходят все связующие материалы, производство которых основано на углеводородном сырье. В основе всех получаемых, по предлагаемой разработке, композиций лежит *лигнин* - природный биополимер не выделяющий токсинов.

Выводы. Такие показатели эффективности дают предпосылки для постепенного вытеснения из технологических процессов дорогостоящих и экологически опасных связующих материалов (синтетических смол). Разработка реализована для технологии изготовления стержней при производстве отопительных радиаторов; для производства фасонных отливок из чугуна; для изготовления раструбов чугунных напорных и канализационных труб . В перспективе разработка может быть использована в процессах гранулирования различных сыпучих материалов в металлургии и горнорудной промышленности (например при брикетировании угольных отсевов отработанных отстойников центральных обогатительных фабрик и т.д.), при производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит и фанеры в деревообрабатывающей промышленности.

УДК 621.742.22

Мусабах Джамал И., Свинороев Ю.А., Гутько Ю.И.

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, г. Луганск

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Реализация возможностей повышения связующей способности связующих материалов, может быть осуществлена только при условии формализации «встраивания» разработанных теоретических постулатов процесса структурообразования связующего в технологические регламенты проведения процессов литья, учитывающих основные технологические факторы формирующие качество отливки.

Первоначально, для возможности подобного «встраивания», проведем сравнительный анализ литейного связующего на примере ЛСТ с «идеальным связующим».

С функциональной точки зрения связующий материал обеспечивает прочность формирующегося литейного стержня или формы. Это достигается их специфическими особенностями, проявляющимися в способности затвердевать при определенных условиях, и образовывать не разъемные соединения между частичками наполнителя. Такие особенности достигаются благодаря наличию в составе исходной смеси связующих веществ, способных к полимеризации или поликонденсации, а протекание этих процессов обуславливает образование связей (сшивки) между структурными элементами полимера. При этом, связующего в составе смеси должно быть минимально необходимое количество, а получаемая прочность литейного стержня или формы должна быть оптимальной – наилучшей при данных условиях и технологических требованиях. Связующего в смеси тем меньше, чем выше его прочностные показатели. В случае с ЛСТ, в его нынешнем состоянии качества, смесь должна содержать большое количество связующего, при этом прочность, а значит качество литья абсолютно не гарантированы. Такое состояние с технологической точки зрения является не приемлемым. Именно это и определяет проблему ЛСТ. Главная задача практической реализации выявленных предпосылок повышения его связующей способности, будет состоять именно в поиске технологических способов их технической реализации при производстве литья.

Вернемся к процессу формирования литейного стержня. Процесс сшивки является элементарным актом в структуре формирования полимерной матрицы затвердевающего связующего. Существенным является тот момент, что связующее находится в коллоидном состоянии, оно обволакивает поверхность зерна наполнителя, и в этом состоянии обладает особыми свойствами существенно влияющими на конечный результат. Особенно важно это для ЛСТ, поскольку сам материал, представляет из себя сложный коллоидный комплекс, обладающий поверхностно-активными веществами.

В общем случае это определяет прочностные характеристики всего формирующегося тела, например, литейного стержня или формы. Осуществление процессов сшивки инициируются либо температурой (операция сушки), либо специальными веществами – отвердителями. Для ЛСТ значимым является то, что необходима внутренняя инициация полимеризационных процессов. В

структуре связующего должны быть созданы активные центры, которые бы выполняли с одной стороны, роль инициаторов процесса структурообразования, а с другой выступали бы в роли отвердителя, образовывая поперечные сшивки между олигомерными цепями ЛСТ.

Скорость протекания этих процессов может регулироваться катализаторами. Существование связующего в исходном состоянии, как правило, в виде жидкости, обеспечивается растворением полимерной основы в растворителе (вода, спирт, бензол и т.д.).

Такое понимание объекта исследования приводит к формулировке представлений о связующем, как сложной многокомпонентной системе претерпевающей целый комплекс всевозможных трансформаций учитывающих основные технологические факторы: объёмное состояние; воздействие на структуру, её переформатирование; процесс перехода в коллоидное состояние; непосредственно коллоидное состояние; уплотнение, формирование манжет связующего между зернами наполнителя; отверждение; выдержка, частичное разупрочнение (характерно для ЛСТ, поскольку обладают высокой гигроскопичностью); термическое воздействие, термодеструкция; выбивка; регенерация.

Таким образом, наличие такого огромного количества трансформаций требует особых качеств от современного связующего материала. Не соответствие хотя бы на одном из этапов неизбежно приводит к образованию брака.

УДК 621.746.2:66.028

А.Ю. Кізілова

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ
Тел.: (044)4242050, e-mail: kizilova_au@mail.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИНАМІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ МАГНІТОДИНАМІЧНОЇ УСТАНОВКИ

Підвищення розмірної точності і якості лиття заготовок з алюмінієвих сплавів нерозривно пов'язано з можливостями заливально-дозувального устаткування, що застосовується у технологічних процесах ливарного виробництва. До ливарних агрегатів, що використовуються у різноманітних технологіях приготування і

розливання сплавів чорних та кольорових металів належить оригінальна магнітодинамічна установка (міксер-дозатор), створена у ФТІМС НАН України.

Вирішення проблеми поєднання автоматизації безперервного контролю основних інформативних технологічних параметрів (маса, температура, масова витрата розплаву) і управління процесом заливки дозволить поліпшити відтворюваність результатів і ефективність обробки розплаву, оптимізувати роботу такого устаткування, знизити енерговитрати, підвищити конкурентоспроможність створюваного багатофункціонального ливарного обладнання.

Реалізація дискретного та безперервного розливання, коли у якості параметру для контролю використовується маса розплаву m та її зміна у часі dm/dt, стає більш перспективною при використанні ваговимірювальних пристроїв. Це дає можливість контролювати не тільки процес дозування розплаву із високою точністю та заданою масою дози $m_д$, а також здійснювати контроль і регулювання параметрів (Q, t) та режимів розливання. Особлива увага приділяється масовій витраті як технологічному параметру.

Сутність реалізації регулювання параметру масової витрати полягає у безперервному визначенні фактичного значення рівня металу у тиглі $H_{мет-поточ} = f(m_{мет})$, фактичного перепаду рівнів між поверхнею металу в тиглі та власне рівнем нижнього торця зливного жолобу металопроводу $\Delta H = H_{зал} - H_{мет} \equiv \Delta P_{ем-тиску}$.

Для розробки та вдосконалення існуючих систем автоматичного управління технологічними параметрами роботи МГД-установки при реалізації процесів лиття чи обробки розплавів з їх використанням, напрямок подальших досліджень спрямований на відтворення законів ПІД-регулювання та встановлення раціональних напрямків щодо здійснення підтримки на заданому рівні та регулювання сталих у часі величин.

Особливу цікавість, з точки зору реалізації динамічного контролю, у даному випадку викликає закономірність зміни у часі значення масової витрати та метод її визначення.

Залежність $m' = f(\tau)$ (як перша похідна зміни величини маси у часі), визначена шляхом перерахунку зміни параметру маси $(m_{i+1} - m_i)$ за певний

(відповідний інтервал часу $\left(\tau_{m_{i+1}} - \tau_{m_i}\right)$, - $Q_i = m_i' = (m_{i+1} - m_i) / \left(\tau_{m_{i+1}} - \tau_{m_i}\right)$, де період часу був вибраний 0,5 сек.

Зокрема, параметр величини часового проміжку ($\tau_i = \left(\tau_{m_{i+1}} - \tau_{m_i}\right)$ коригується у відповідності до параметрів роботи ваговимірювальної системи, блока реєстрації миттєвого значення маси розплаву, що заливається та, особливо, до співвідношення маси дози до масової витрати $\chi = m_{дози} / Q_{зал}$, що для більшості типових процесів розливання із забезпеченням достатнього рівня точності (не більше 2%), що корелюється як процес заливання протягом часу, - $\tau \geq 2 сек.$

Аналітичний огляд параметрів взаємозв'язків апаратних та технологічних (контрольованих) параметрів вказує на необхідність розробки на базі алгоритмів обчислювальної частини програми МП, які б давали змогу здійснювати адаптивний метод обчислення масової витрати, зі змінним значенням $\Delta\tau$ в залежності від масової витрати, що задається, та у кореляції до фактичного її значення в процесі заливання. Такий підхід стосується процесу дозованого розливання, у якому головним фактором, який формує похибку, є значення маси інерційного зливу у вихідній частині заливання.

Величина миттєвого значення масової витрати є найвагомішим аргументом, що впливає на масу інерційного зливу та власне похибку при дозованому розливанні. Для усунення негативного неконтрольованого процесу дозування та здійснення можливості екстраполювання режиму заливання у вихідному періоді слід здійснювати високоточне вимірювання миттєвого значення масової витрати $Q(t)$, з метою швидкісного коригування величини електромагнітного тиску, що створюється у МГД-установці, шляхом управління параметрами живлення електромагнітних систем такого обладнання або реалізації операцій доливання, тощо.

Приклад реалізації методу динамічного контролю (у випадку застосування алгоритму системи «відстеження» динаміки зміни у часі масової витрати), що реалізується за алгоритмом 5-ти стадійного визначення величини.

Аналогічний підхід щодо здійснення прямого (чи непрямого) динамічного контролю технологічних параметрів може бути застосований і у багатьох ливарних технологіях, зокрема ЛЕМТ (лиття під низьким регульованим електромагнітним тиском).

Для створення автоматичної системи управління технологічними процесами в основу покладені математичні моделі, які будуть відтворені у якості комп'ютерних моделей роботи МГД-установки.

Комп'ютерна модель, як засіб відтворення технологічних параметрів, має містити власне «симуляційну» частину МГД-установки, її електромагнітних систем та режимів їх роботи, що з високим рівнем адекватності має відповідати реальному зразку дослідного обладнання. Другим рівнем створення математичної моделі буде розроблена комп'ютерна модель, де у якості системи для симуляції буде використаний алюмінієвий розплав, відтворення рівня його властивостей при обробці із використання електрофізичних методів та комплексна оцінка і відтворення режимів транспортування розплаву у ливарну форму за існуючими технологіями лиття.

Здійснення динамічного контролю масової витрати та температури розплаву, що заливається є доцільним з метою суттєвого підвищення точності дозування до рівня, що відповідає точності роботизованих систем дозування (не більше 1% у діапазоні доз від 0,1 до 100 кг), відтворення адаптивного регулювання масової витрати розплаву у періоди початку заливання, при заливанні та при доливанні до заданої дози, до створення систем динамічного регулювання процесів заповнення ливарної форми для технології ЛЕМД чи РАСЛІТ-ЛЕМД.

Сукупність очікуваних результатів є підґрунтям створення конкурентоспроможного сучасного ливарного магнітодинамічного обладнання.

III МЕЖДУНАРОДНАЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МЕТАЛЛУРГИЯ

27 – 29 мая 2014 ГОДА

УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

СОДЕРЖАНИЕ

А.Г. Безшкуренко, Л.В. Камкина, А.П. Мешалкин. УСЛОВИЯ СНИЖЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ВЫПЛАВКЕ, ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ И НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ **278**

Б.Ф. Белов, А.И. Троцан , И.Л. Бродецкий , Ф.С. Крейденко РАФИНИРОВОЧНЫЕ ШЛАКИ ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ДОМЕННОГО ЧУГУНА **280**

В.П. Бобылев, А.И. Пудла. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА БИОТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ДНЕПРОПЕТРОВСКА **282**

В.С. Богушевский, К.В. Егоров, В.Ю. Сухенко. КОНТРОЛЬ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА **284**

В.С. Богушевский , А.Э. Скачок. ВЛИЯНИЕ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА УПРАВЛЕНИЕ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ **285**

С.Б. Бойченко. РАСТВОРИМОСТЬ ВОДОРОДА В ТВЕРДЫХ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТАЛЯХ **287**

Б.М. Бойченко, А.С. Заспенко. МОДЕРНИЗАЦИЯ ДУТЬЕВЫХ РЕЖИМОВ В КОНВЕРТЕРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ **289**

С.Б. Бойченко, Ю.С. Пройдак, Е.В. Синегин. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ ПРИ ВДУВАНИИ В СТАЛЬ АРГОНА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА **291**

С.Б. Бойченко. ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ШЛАКА ПРИ ПРОДУВКЕ СТАЛИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ АРГОНОМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА **292**

А.А. Бурбелко, Й. Почонтек. УСРЕДНЕННЫЙ ПОЛИЭДР ВОРОНОГО В МОДЕЛИРОВАНИИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ **293**

А.Г. Величко, Б.М. Бойченко, Е.В. Синегин, С.Б. Бойченко. АКТУАЛЬНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ **295**

А. Г. Величко, С. Б. Бойченко. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ **300**

А.Г. Величко, С.Б. Бойченко. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В КОНВЕРТЕРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ **302**

В.Н. Власенко. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОКОМКОВАНИЯ И СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ШИХТ В ПРИСУТСТВИИ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ИЗВЕСТИ **303**

В.Г. Герасименко, Б.М. Бойченко, Е.В. Синегин, Л.С. Молчанов, Д.А. Мусунов. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВНЕШНЕМ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ **305**

Ю.А. Гичёв, Т.А. Василькив, В.А. Перцевой. СТРУКТУРА ГАЗОВОЙ СТРУИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБРАТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПРИ ПРОДУВКЕ РАСПЛАВА **307**

Ю.А. Гичёв, Т.А. Василькив, В.А. Перцевой. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ МНЛЗ ТРАНСЗВУКОВЫМИ ВОЗДУШНЫМИ СТРУЯМИ **309**

Ю.А. Гичёв, А.Ю. Запотоцкая. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА **311**

Ю.А. Гичёв, О.В. Переверзева. ВЫХОД МЕТАЛЛИЗОВАНОГО ПРОДУКТА И СТЕПЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ **313**

Ю.А. Гичёв, М.Ю. Ступак. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫГОРАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕССАХ СУШКИ И РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ **315**

Ю.А. Гичёв, М.Ю. Ступак. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГАЗОВОГО ПОТОКА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ И РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ **317**

Ю.А. Гичёв. КОЛИЧЕСТВО НАГРЕВАЕМОГО МЕТАЛЛОЛОМА И ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА **319**

А.В. Головчанский. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СКЛАДОК НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА **321**

А.М. Гришин, В.К. Симонов, И.С. Щеглова. ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗВИТИЕ ДИФФУЗИОННО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГАЗОВОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА **323**

В.И. Дуда, Г.А. Бялик, В.И. Гонтаренко. ПРИБОР ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ПЫЛИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОСАЖДЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ **325**

С.В. Жук, Є.К. Бондаренко, О.О. Капусняк. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ **327**

С.В. Жук, К.П. Грабівський, А.І. Стецик. СИСТЕМА ЗАМКНЕНОГО КЕРУВАННЯ КИСНЕВИМ КОНВЕРТЕРОМ **328**

С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов, В.С. Мамешин. СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ШЛАКА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ **330**

И.К. Иващенко. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ, СНАБЖЕННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЕМ **332**

Д.А. Казарин, Н.П. Волкотруб, М.И. Прилуцкий. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОССТАНОВИТЕЛЯ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ШИХТЫ ПРИ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОТИТАНА **334**

А.Р. Катеренюк, О.В. Матухно. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПИЛОГАЗОВИХ ВИКИДІВ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ **336**

А.С. Козачёк, Э.В. Приходько. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ СТАНА 850 РУП «БМЗ» **338**

Н.А. Колбин, А.В. Бабенко. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ CO И H_2 ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СЛОЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ **340**

Б.В. Корнилов, А.Л. Чайка. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СВОБОДНОЙ ОТ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ОБЛАСТИ КОЛОШНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ **341**

Н.В. Косолап, Ю.А. Зинченко, А.Г. Курпе. СОВРЕМЕННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ВДУВАНИЮ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ **343**

С.А. Купцов, М.Ю. Проценко, И.С. Скиданов. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАСЫЩЕНИЯ МЕТАЛЛА МАРГАНЦЕМ МЕТОДОМ ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ **345**

Д.В. Лелеко, Г.Н. Трегубенко. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБАМИДСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАТУР ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕЙ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ **347**

Э.И. Лытарь, О.В. Кукса. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫСОКУЮ СТЕПЕНЬ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ И ОБЕССЕРИВАНИЯ ЧУГУНА **349**

А.П. Мешалкин, Л.В. Камкина. РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ С ПОВЫШЕННОЙ ДОЛЕЙ ЛОМА **351**

А. Г. Мєшкова, М. В. Сухарева. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ЦІАНІДІВ ГАЛЬВАНОСТОКІВ РЕАГЕНТНИМ СПОСОБОМ **353**

Я.В. Мяновская, Л.В. Камкина, Ю.Н. Грищенко. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ 2 СОРТА **355**

К.Г. Низяев, А.С. Заспенко, А.Н. Стоянов. ПРОГРАММА РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО И ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ **358**

К.Г. Нізяєв, Л.С. Молчанов, Б.М. Бойченко, О.М. Стоянов, Є.В. Синегін, П.О. Заблоцький. ТЕХНОЛОГІЯ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ ЕКЗОТЕРМІЧНОЮ ШИХТОЮ, ЩО МІСТИТЬ ОКСИД МАГНІЮ **359**

К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов, Л.С. Молчанов. ПОДГОТОВКА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА С **360**

ЦЕЛЬЮ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ШИХТЫ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

А.В. Пархоменко. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ **362**

Д.В. Пащук, Г.Н. Филин, А.В. Федосов. АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ОТ СОСТОЯНИЯ ФОРСУНОК ЗВО МНЛЗ **363**

А.Ф. Петров, В.П. Пиптюк, В.Ф Мороз, С.В. Греков. МОДЕЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ФЕРРОСПЛАВОВ **365**

С.Н. Подгорный. ОПРОБОВАНИЕ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ ХРОМОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕДНОГО ХРОМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ **367**

С.Н. Подгорный, А.Ю. Садовник. РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГКР **369**

Ю.С. Пройдак, Я.В. Мяновская , О.А. Гогенко. ОКОМКОВАНИЕ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ 2 СОРТА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ **371**

Е.В. Протопопов, Р.Ф. Калимуллин, А.Г. Чернятевич. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГАРНИСАЖНЫХ ФУРМ И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ШЛАКОВОГО ГАРНИСАЖА И ТОРКРЕТ-ПОКРЫТИЙ НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТЕРОВ **375**

Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, С.В. Фейлер, А.Н. Калиногорский. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТЕРОВ **377**

Ю.Е. Романенко, П.П. Лазаревский, И.Е. Ходосов. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ, ХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ И МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА **379**

Я.А. Романчук. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ **381**

А.А. Салей, Н.П. Сопина. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОКСИДА БАРИЯ НА ТВЕРДЕНИЕ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА **383**

К.О. Сергеєва. ЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ З ВВЕДЕННЯМ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ **384**

Е.В. Синегін, Б.М. Бойченко, В.Г. Герасименко, Л.С. Молчанов, Д.О. Мусунов. ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОРОШКОВОГО ІНОКУЛЯТОРУ В РІДКІЙ ФАЗІ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ **386**

Е.В. Синегин, Б.М. Бойченко, В.Г. Герасименко, Л.С. Молчанов, Д.А. Мусунов. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ИНЖЕКЦИИ ПОРОШКОВОГО ИНОКУЛЯТОРА В ЖИДКУЮ ФАЗУ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ **388**

А.С. Скачко, Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Д.А. Степаненко. ГЕНЕРАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ДОМЕННОЙ ШИХТЫ С ПОЗИЦИИ УЧЕТА ЕЕ БОГАТСТВА И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ ПУСТОЙ ПОРОДЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ **390**

Ю.И. Сокур, Л.В. Камкина , Р.В. Анкудинов. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ "МЕТАЛЛ-ШЛАК-ВОДОРОД" **392**

А.Н. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, Е.В. Синегин. ПОЛЯРИЗАЦИИ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ **394**

Т.М. Титова, М.С. Бешкенадзе. ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НИТРИДОМ ТИТАНА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ **396**

Г.Н. Трегубенко, Ю.А. Бубликов, Г.А. Поляков, А.В. Пучиков, Д.В. Лелеко. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОСТАЛЕЙ ДЛЯ ВАГОННОГО ЛИТЬЯ **398**

А.В. Феоктистов, О.Г. Модзелевская. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРИГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННЫХ ВАГРАНОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ **400**

П.С. Харлашин, В.М. Бакланский. ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА **402**

МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

П.С. Харлашин, Ассиил Кадхим Мохаммед, В.О. Синельников. К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ФУТЕРОВКЕ 160т КОНВЕРТЕРА С УЧЁТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ПЛАВКИ 404

П.С. Харлашин, Ассиил Кадхим Мохаммед, А.К. Харин. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ГАЗА НА СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ ПРИ РАЗДУВКЕ ШЛАКА В КОНВЕРТЕРЕ 406

П.С. Харлашин, А.В. Бендич. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ДОВОДКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ 408

П.С. Харлашин, В.О. Синельников. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ СТАЛИ АРГОНОМ 411

Н.А. Циватая, Д.Н. Тогобицкая. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ДОМЕННОГО ШЛАКА НА ВЫНОС ЩЕЛОЧЕЙ ИЗ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ 412

К.С. Цюпа. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ФУТЕРОВКИ ШАХТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ 414

М.С. Чернишова, О.В. Саввін. ПОСЛАБЛЕННЯ ПАРНИКОВОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКИДІВ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 416

А.Г. Чернятевич, А.С. Гриценко, С.Е. Ганжа. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ 418

И.В. Чикида, С.В. Кравцов. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОКРАЩЕНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ $CaCO_3$ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 419

К.Ф. Чмырков, А.С. Заспенко, К.Г. Низяев, Б.М. Бойченко, А.Н. Стоянов. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА В ШИХТУ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ (ЖСБ) И КАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ БРИКЕТОВ (БКЖС) 421

А.Ф. Шевченко, И.А. Маначин, С.А. Шевченко, В.Г. Кисляков, А.М. Шевченко, А.М. Башмаков, Лю Дун Йе. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНЖЕКЦИОННОГО РАФИНИРОВАНИЯ ЧУГУНА МАГНИЕМ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОВШАХ 423

П.Б. Калюжний, Ю.І. Гутько, А.М. Голофаєв ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН БРАКУ СТАЛЕВОГО ВИЛИВКА «КАРТЕР ЗАДНЬОГО МОСТУ» 425

А.Г. Безшкуренко, Л.В. Камкина, А.П. Мешалкин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

УСЛОВИЯ СНИЖЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ВЫПЛАВКЕ, ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ И НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ

Повышение температуры жидкой стали, снижающее ее динамическую вязкость, создание крупных комплексных включений с более низкими температурами плавления, облегчающих условия коагуляции и коалесценции твердых частиц и жидких капель при принудительном перемешивании стали в ковше, способствуют удалению неметаллических включений. Лучшие результаты по удалению включений достигаются при организации пузырькового истечения нейтрального газа из сопел диаметром ≤ 3 мм. При различии в составе включений степень удаления этих включений, наряду с перечисленными выше факторами, будет зависеть и от величины их адгезии к стали. Наблюдаемое иногда быстрое удаление глиноземных включений в сравнении с силикатными объясняется действием этого фактора [1].

Обязательными операциями современных технологий выплавки качественных сталей перед их разливкой на МНЛЗ являются доведение до возможно более полного завершения реакций раскисления и десульфурации, проведения легирования и при необходимости модифицирования, усреднения химического состава и температуры стали. Успешное проведение этих финишных операций выплавки внепечной обработки стали в большой степени определяют нормальное течение непрерывной разливки стали, для которой характерна минимальная интенсивность отложений неметаллических включений на стенках внутреннего канала-дозатора, что приводит к его затягиванию и изменению условий разливки. Как установлено исследованиями последних лет, эти отложения представлены тугоплавкими комплексными образованиями, возникшими при разливке стали, раскисленной алюминием.

Установлено, что одним из важных факторов, снижающих интенсивность образования отложений на внутренней поверхности канала стакана-дозатора является уменьшение количества вводимого для раскисления стали алюминия до соблюдения определенного отношения [Ca]/[Al] [2].

Теоретические исследования и анализ промышленных результатов показывают, что основными причинами зарастания погружных стаканов являются: эрозионный износ в зоне шлакового пояса и истечения струи, зарастание внутренней полости неметаллическими фазами в зоне выходного отверстия и растрескивание верхней части изделия, связанное с подсосом воздуха в стык между стаканом-дозатором

и погружным стаканом, а также образование продольных сквозных трещин при термоударе (недостаточный подогрев стакана перед разливкой) [3].

Свойства неметаллических включений после проведения модифицирования стали, которая характеризуется определенным физико-химическим состоянием, изменяются в процессе непрерывной разливки стали. Как показывают результаты исследования, содержание кальция в металле на УНРС уменьшается в 1,5-2,0 раза по сравнению с содержанием его в последней пробе металла на установке «печь-ковш». Такое снижение содержания кальция обусловлено [4] взаимодействием кальция с продуктами раскисления и модифицирования с последующим образованием алюминатов кальция, сульфидов кальция и их комплексов.

Химический анализ отложений при разливке стали в условиях ММЗ показал, что основными элементами отложений являются глинозем (Al_2O_3), содержание которого находится в пределах 46,8-50,5%, кремнезем (SiO_2), оксид магния (MgO) и железа (FeO,Fe_2O_3). Введение в сталь, раскисленную алюминием, кальция и его последующее окисление до CaO в пропорциональных величинах приводит к образованию алюминатов кальция эвтектического состава с температурой плавления порядка 1400ºС, которые при температуре жидкой стали находятся в глобулярном виде [2]. Эти условия соответствуют безаварийной разливке стали на УНРС.

Исходя из величин термодинамических потенциалов, кальций в металле в первую очередь, взаимодействует как раскислитель и десульфуратор (с образованием оксидов и сульфидов кальция), а затем оставшийся кальций работает как модификатор неметаллических включений. Образование тугоплавких сульфидов кальция CaS ухудшает жидкотекучесть так же, как и глинозем. При одновременном использовании в качестве раскислителей алюминия и кальция, образование оксида алюминия или сульфида кальция регулируется их соотношением: при большом расходе алюминия оксидные включения переходят в Al_2O_3 с дальнейшим образованием CaS.

Повышенную склонность к запутыванию в стали карбидных включений (карбида кальция) можно объяснить возрастанием адгезии шлаковой фазы (обогащенной углеродом) до величин, заметно превышающих когезию шлака [5]. Поэтому содержание углерода в ШОСах для кристаллизаторов МНЛЗ, являющихся последним фактором, влияющим на содержание включений в стали, должно быть обосновано в зависимости от марки выплавляемой стали и условий ведения плавки.

Таким образом, исследования особенностей раскисления и модифицирования стали, кинетики удаления включений из стали в сталеразливочном и промежуточном ковшах и в кристаллизаторе в плавленую основу ШОС, а также условий образования

неметаллических фаз на внутренней поверхности погружного стакана и стакана-дозатора при контакте со струей стали и компонентами шлаковой фазы, необходимы для обеспечения режима бесперебойной работы МНЛЗ.

Литература

1. Попель С.И. Факторы, влияющие на скорость всплывания включений в стали / С.И. Попель, А.А. Дерябин // Изв. ВУЗов ЧМ. – 1965. – № 4. – С. 25-29.
2. Анализ причин зарастания каналов дозаторов промежуточных ковшей при разливке высокоуглеродистых марок электростали / Ю.С. Пройдак, Л.В. Камкина, А.Г. Безшкуренко, А.П. Мешалкин // Сб. докладов 10-й научно-практической конференции «Кадры для региона – современная металлургия нового тысячелетия», Липецк, декабрь 2013, Ч 2. – С.177-186.
3. Лукавая М.С. Анализ процесса затягивания погружных стаканов при непрерывной разливке стали / М.С. Лукавая, Г.Г. Михайлов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия, 2006. – № 10(65).
4. Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками : По ред. Дюдкина Д.А. / Д.А. Дюдкин , С.Ю. Бать и др. – Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2002. – 296 с.
5. Попель С.И. Адгезия железоуглеродистых сплавов и шлаков / С.И. Попель, О.А. Есин, Н.К. Джемилев // Изв. ВУЗов ЧМ. – 1963. – № 6. – С. 5-10.

УДК 669.16

Белов Б.Ф., Троцан А.И., Бродецкий И.Л., Крейденко Ф.С.
Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

РАФИНИРОВОЧНЫЕ ШЛАКИ ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ДОМЕННОГО ЧУГУНА

В металлургической практике наибольшее распространение получила обработка железоуглеродистых расплавов синтетическими шлаками, которые представляют собой многокомпонентную систему CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO-CaF_2.

Рафинировочные шлаки оптимального состава характеризуются высокой химической активностью и благоприятными физическими свойствами: относительно низкой температурой плавления и удовлетворительной жидкотекучестью, относительно низким межфазовым натяжением. Однако выбрать конкретный состав шлака с оптимальным соотношением компонентов затруднительно, так как к шлакам предъявляются противоречивые требования. Так, для достижения высокой десульфурирующей

способности в состав шлаковой смеси нужно добавлять CaO, но чем больше в составе CaO, тем выше основность, вязкость и ниже жидкотекучесть шлака, и как следствие, происходит снижение его рафинирующих характеристик.

Целью настоящей работы является разработка составов рафинировочных шлаков, обладающих хорошей жидкотекучестью и высокой десульфурирующей способностью, достаточно дешевых и экологически безопасных.

Исследования механизма процессов рафинирования железоуглеродистых расплавов показали, что максимальной жидкотекучестью обладают легкоплавкие шлаки эвтектического состава, а их адсорбционная емкость зависит от степени структурно-химического разупорядочения [1]. Известно, что присадки MgO и Al_2O_3 снижают температуру плавления шлака в определенных интервалах их содержаний, которые определяются опытным путем для конкретных условий. В связи с этим был проведен анализ структурно-химического состояния силикатных и алюмосиликатных фаз на полигональных диаграммах [2] тройных систем $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ и $CaO- SiO_2-MgO$ и определены оптимальные составы эвтектических шлаков. К таким составам принадлежат силикатные и алюмосиликатные шлаки, которые содержат не более 10-12 % MgO и Al_2O_3 и плавятся при температурах жидкого чугуна.

В структурно – разупорядоченное (активированное) состояние доменные шлаки превращаются в зоне фурменного пояса при высоких температурах (до 2000 ^{0}C) в результате химических реакций раскисления углеродом кокса и чугуна, когда образуются свободные химические связи сульфидообразующих элементов – марганца, магния, кальция. Сульфидные фазы адсорбируются плавильным шлаком с образованием оксисульфидов, растворенных в гомогенном жидкоподвижном шлаке.

Рафинировочные шлаки для десульфурации железоуглеродистых расплавов должны отвечать требованиям двух структурно-химических критериев, являющихся условиями необходимости и достаточности: легкоплавкость и структурная разупорядоченность. Легкоплавкость регламентируется степенью эвтектичности, обеспечивающей максимальный перегрев и минимальную вязкость при температурах жидкого металла. Структурная разупорядоченность шлака достигается при его раскислении химически активными элементами с высоким сродством к кислороду. Этим условиям отвечают шлаки эвтектического состава – легкоплавкие и активированные при раскислении углеродом.

В системе $CaO-SiO_2-MgO$ этим условиям отвечает шлак стехиометрического состава $4CaO3SiO_2MgO$, образующийся между ранкинитом – $3CaO2SiO_2$ и монтичеллитом $CaOSiO_2MgO$, содержащий (в масс. %) 40,5 SiO_2 + 9,0 MgO + 50,5 CaO при ос-

новности шлака B=CaO/SiO_2 = 1,24. В системе $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ этим условиям отвечает шлак стехиометрического состава $6CaO3SiO_2Al_2O_3$ (54,4 CaO +29,1 CaO +16,5 Al_2O_3) при основности B = 1,87. При взаимодействии этих шлаков образуется легкоплавкая эвтектика состава $10CaOMgOAl_2O_36SiO_2$ (52,7CaO+3,8MgO+9,5 Al_2O_3/+34,0 SiO_2) ($T_Э \leq 1250\ ^0C$) с основностью B = 1,56.

Для изготовления предлагаемых рафинировочных шлаков можно использовать дешевые и недефицитные материалы: доломит, известняк, шамотный бой и кварциты. По своей десульфурирующей способности они являются полноценными заменителями дорогих известково-глиноземистых шлаков.

Список литературы

1. Анализ рафинировочных процессов ковшевой обработки стали / Буга И.Д., Троцан А.И., Белов Б.Ф., Носоченко О.В. [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №3. – С. 16-20.

2. Метод побудови полігональних діаграм стану потрійних металургійних систем / Бєлов Б.Ф., Троцан А.І., Буга І.Д., Носоченко О.В., Бродецький І.Л., Крейденко Ф.С. // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №48344 від 18.03.2013.

УДК 662.767.2:658

В.П. Бобылев, А.И. Пудла

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА БИОТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ДНЕПРОПЕТРОВСКА

Днепропетровск имеет мощный промышленный потенциал, который характеризуется высоким уровнем развития тяжелой индустрии. Основа промышленности города - металлургический комплекс. Продукция отрасли составляет 6,9% от общего объема производства черной металлургии Украины, в том числе: труб – 51,4% , стали – 5,3% , чугуна – 5,0% , проката – 4,4%, кокса – 4,0%. Для получения готовых труб или проката заготовку необходимо нагреть до определенной температуры в нагревательных печах различных типов. Количество нагревательных и термических печей по всем заводам составляет несколько сотен.

Основное топливо для всех этих печей и установок – природный газ. При его полном сгорании образуется диоксид углерода (парниковый газ) [1]

$$M_G = 3{,}667 C^P M_F / 100, \quad (1)$$

где M_G – масса образованного диоксида углерода при сгорании всего топлива, т/т продукции; 3,667 – коэффициент, который определяет массу образующегося диоксида углерода на единицу массы сгораемого углерода; C^P – массовая доля содержания углерода в топливе, %; M_F – масса сгоревшего природного газа, т/т продукции. Коэффициент 3,667 найден из уравнения полного окисления углерода, в этой связи в уравнение (1) входят массы газов, а не их объемы.

Природный газ различных месторождений имеет разный состав, что определяет различия в содержании углерода и удельной плотности газа. Для упрощения примерных расчетов предположим, что природный газ состоит из одного метана. По массе такой газ будет содержать 75% углерода и иметь удельную плотность 0,717 г/л. При таких допущениях можно воспользоваться несколько упрощенными зависимостями.

Объем V_G образованного CO_2 ($м^3$/т продукции) при сжигании метана определяется по массе окисленного горючего вещества

$$V_G = 1855 \frac{75}{100} M_F, \quad (2)$$

где 1855 – коэффициент объема газа, который задает объем образующегося газа на 1 т массы сгораемого топлива при C^P = 100% и с учетом удельной плотности диоксида углерода 1,977 кг/$м^3$: 3,667·1000/1,977 = 1855; M_F – масса сгоревшего метана, т/т продукции.

По заданному объему окисленного метана объем V_G образованного CO_2 ($м^3$/т продукции) при сжигании метана, 1 $м^3$ которого весит 0,000717 т, определяется из выражения (2) как

$$V_G = 0{,}997 V_F, \quad (3)$$

где 0,997– коэффициент объема газа, который задает объем образующегося диоксида углерода на единицу объема метана; V_F – объем сгоревшего метана, $м^3$/т продукции. Таким образом, 1000 $м^3$ метана, полностью сгорая, образуют $\beta_{эш}$ = 997·1,977 = 1971 кг или 1,977 т CO_2 / тыс. $м^3$. Природный газ содержит меньше углерода на 2-3%, по этой причине значение для него $\beta_{эш} < 1{,}997$.

Приведем расчет снижения парникового эффекта при сжигании биогаза наиболее распространённого состава (биогаз спиртзавода): CO_2 – 30 %; CH_4 – 58 %; O_2 – 2 %; H_2 – 8 %; N_2 – 1 %; H_2S – 1 %; γ = 1,073 кг/$нм^3$; $Q_н^р \approx 22$ МДж/$нм^3$.

При выбросе в атмосферу 1 нм^3 биогаза вклад в парниковый эффект, выраженный в эквиваленте диоксида углерода, составляет:

$$0{,}58 \cdot \gamma м \cdot 21 + 0{,}29 \cdot \gamma у \cdot 1 \approx 9{,}34 \text{ кг},$$

где γм = 0,72 кг/нм^3 – плотность метана; γу = 1,98 кг/нм^3 – плотность CO_2; а при сжигании 1 нм^3 биогаза:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O,$$

$$0{,}58 \cdot \gamma у \cdot 1 + 0{,}29 \cdot \gamma у \cdot 1 \approx 1{,}72 \text{ кг}.$$

То есть снижение выброса парникового газа – метана, при сжигании биогаза, выраженное в эквиваленте диоксида углерода, составляет 82 %. В Украине есть технические возможности использовать более чем 200 крупных мусорных полигонов и очистных сооружений, отходы промышленных предприятий, спиртзаводов, сельскохозяйственне и др. отходы для получения биогаза в количестве от 300 до 2 тыс. м^3/час, что позволит частично решить проблему енергоносителей [2].

Список литературы

1. *Чесноков Ю.Н.* Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями / *Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева* // Металлург. – 2012. – № 12. – С. 23-26.

2. *Сигал И.Я.* Опыт сжигания биогаза в промышленных паровых котлах / *И.Я. Сигал, А.В. Смихула, В.А. Колчев* // Труды XV международной конференции «Теплотехника и энергетика в металлургии». – Днепропетровск, 2008. – С. 206-208.

УДК 669.184.244.66.001.57-52

В.С. Богушевский, К.В. Егоров, В.Ю. Сухенко

Национальный технический институт Украины «КПИ», Киев

КОНТРОЛЬ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА

Среди косвенных измерений характера протекания продувки наиболее полно и всесторонне исследованы параметры отходящего газа [1], тепловой работы водоохлаждаемого оборудования [2], вибрационных и пульсационных характеристик объекта [3, 4]. В общем случае эти параметры являются функцией изменения химсостава ванны, шлака и температуры металла.

Проведены исследования по выявлению связей между выходными параметрами процесса и косвенными измерениями [5]. Так, по данным, полученным на ЕМЗ, сде-

лан вывод, что температурный перепад охлаждающей воды на кессоне тесно связан со скоростью обезуглероживания, равно как и температурный перепад на фурму. При этом время чистого запаздывания составляет достаточно большую величину: для фурмы – 10 с, для кессона – 30 с вследствие их заметалливания и ошлаковывания. Такие величины чистого запаздывания делают проблематичным как использование системы (1 – 3), так и результатов измерений отдельных косвенных параметров.

Возможны два подхода к определению выходных параметров конвертерного процесса: построение многоканальной системы распознавания технологических ситуаций или составление системы уравнений контроля по ходу продувки с использованием нескольких параметров. При необходимости контроля одного выходного параметра, например, температуры ванны или скорости обезуглероживания предпочтение следует отдавать многоканальной системе распознавания технологических ситуаций, при построении модели управления следует применять системы балансово-статистических уравнений.

Экспериментальная проверка разработанной динамической модели показала удовлетворительное отражение системой процессов, происходящих в ванне конвертера. Модель позволяет непрерывно по ходу продувки определять скорости обезуглероживания, изменения температуры и окисления железа ванны, а также степень дожигания CO в CO_2 в полости конвертера.

УДК 669.187.255.87

В.С. Богушевский , А.Э. Скачок

НТУУ «Киевский политехнический институт», Киев

ВЛИЯНИЕ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА УПРАВЛЕНИЕ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ

Конвертерной плавке присущи нестационарные и взаимно коррелированные шумы и помехи измерения, существенный дрейф рабочих параметров вследствие наличия неконтролируемых возмущений. Так, например, примеси лома и миксерный шлак, попадающие в конвертер при операциях завалки и заливки, не только искажают информацию о массе металлической части шихты, но и приводят к нарушению процесса, что ухудшает качество управления. Увеличение массы миксерного шлака

на 1 % увеличивает брак стали на 0,1 % и продолжительность продувки на 0,7 мин [1]. При уменьшении попадания в конвертер воды, охлаждающей фурму или охладитель конвертерных газов (ОКГ), на 10 л/мин расход чугуна снижается на 0,2…0,5 кг/т стали [2].

Металлической лом характеризуется химическим составом, температурой и насыпной массой. Насыпная масса существенно влияет на температурный ход процесса, изменяя момент расплавления лома. Исследования, проведенные нами, показывают, что при заливке чугуна в результате снижения его температуры при соприкосновении с ломом и футеровкой расплав частично затвердевает. В большегрузных конвертерах затвердевший чугун присутствует в ванне на значительном интервале времени (на протяжении 40…50 % продувки). При малой насыпной массе лом плавится в начале продувки, что приводит к уменьшению температуры реакционной зоны, при большой – расплавление происходит более равномерно.

Единственным средством контроля насыпной плотности лома является количество заваливаемых совков на плавку. Но такой контроль является грубым. Поэтому наиболее рациональный метод исключения влияния этого возмущающего воздействия – усреднять лом на скраповом дворе по химическому составу и насыпной плотности. Усреднение требуется также по содержанию CO2 в обожженной извести. Достигнуть одинакового качества извести можно, унифицируя ее производство.

Расчеты по балансовой модели показывают, что миксерный шлак, попадая в конвертер, ведет себя как охладитель. Холодное начало продувки усугубляют низкие значения температуры чугуна, массовой доли в нем марганца и кремния, большой расход лома низкой насыпной плотности (0,7 т/м^3) и др. При этом в первом периоде продувки наблюдается значительное накопление оксидов железа в шлаке, так как массоперенос в ванне замедлен. В дальнейшем эти факторы после разогрева ванны приводят к интенсивному неравномерному окислению углерода и быстрому растворению извести за счет активного ассимилирующего влияния оксидов железа. Все это может привести к выбросам в середине продувки и потерям металла, достигающим иногда 2…5 % от массы чугуна [3].

Результаты оценки влияния неконтролируемых возмущающих воздействий на ход конвертерной плавки показали их существенную величину как на процесс обезуглероживания ванны, ее температурный режим, так и шлакообразования. Учесть это влияние можно путем введения обратных связей по результатам проведенных плавок или по контролю динамических параметров [4]. Существенное уменьшение

влияния неконтролируемых возмущающих воздействий можно достичь тщательной подготовкой шихтовых материалов.

Литература

1. Гидродинамика металла и шлака при скачивании шлака / Е.В. Годецкий, Ю.А. Винник, Л.А. Васильева и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1988. – №9. – С. 45-47.

2. Яновский И.Л. Производство стали в крупных конвертерных цехах / И.Л. Яновский, С.Н. Гончаров, А.Т. Белан // Чер. металлургия: Бюл. НТИ. – 1987. – № 10. – С. 7-15.

3. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф.Чернега, В.С.Богушевський, Ю.Я.Готвянський та ін.; За ред. Д.Ф.Чернеги, Ю.Я.Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.

4. Богушевський В.С., Сухенко В.Ю. Система прийняття рішень у керуванні режимом дуття конвертерної плавки / В.С. Богушевський, В.Ю. Сухенко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 2. – С. 69-80.

УДК 669.147

С.Б. Бойченко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

РАСТВОРИМОСТЬ ВОДОРОДА В ТВЕРДЫХ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СТАЛЯХ

С привлечением фундаментальных термодинамических положений определили содержания водорода в α - и γ – Fe при различных температурах и парциальных давлениях водорода (рис. 1) применительно к производству высокопрочных сталей марок 20Х2ГА и 54С2ХГА. Эти стали, как обнаружено во время отбраковки заводской продукции, наиболее подвержены индуцированному водородом локальному охрупчиванию, причем интеркристаллические разломы, трещины со специфическим расположением «вороньи лапки» и поры не исключены на поверхности единичных зерен даже у изделий простейшей формы.

С повышением температуры, как и ожидалось, возрастают содержания водорода, причем при переходе от кубической объемноцентрированной решетки α – железа в кубическую гранецентрированную γ – железа наблюдается скачок растворимости. Самые высокие содержания водорода в металле достигаются под чистой водородной атмосферой (кривая 1), они почти на шесть порядков меньше в техническом вакууме (кривая 5). Содержание водорода в железе на воздухе отображает кривая 4.

В соответствии с равновесием между α - и γ – Fe согласно линии GS на диаграмме Fe-C температура перехода понижается в зависимости от содержания углерода с 910 до 738 ^{0}C. Таким образом, переход происходит у сталей 20Х2ГА при 840 ^{0}C, в то время как у сталей марки 54С2ХГА эта температура составляет 780 ^{0}C. При смене атмосферы с 0,5 на 40% объемных водорода при 900 ^{0}C возрастает теоретическое равновесное содержание в металле у сталей марки 54С2ХГА с 0,3 до 2,7 ppm, то-есть разность содержаний водорода в α – и γ – железе увеличивается с ростом концентрации в нем углерода.

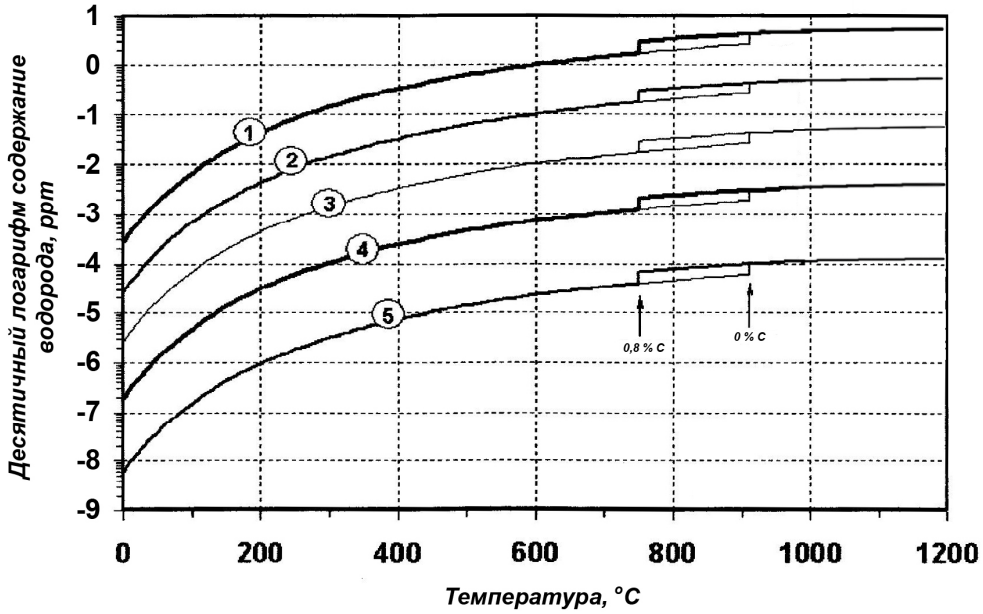


Рис. 1. Влияние температуры и парциального давления водорода в газовой фазе (цифры у кривых, Па) на его концентрацию в твёрдом железе: 1 – 10^5 (чистая водородная атмосфера); 2 – 10^3; 3 – 10; 4 – $5\cdot10^{-2}$ (воздушная атмосфера); 5 – $5\cdot10^{-5}$ (вакуум)

На основании рассмотренных теоретических положений и выполненных расчетов предельной растворимости водорода в твердой стали, при превышении которой в ней будут появляться флокены и трещины, в технологию внепечной обработки

и проката выплавляемых пружинных сталей марок 20Х2ГА и 54С2ХГА внесены коррективы. Они приближают содержание водорода в жидком расплаве к расчетной предельной его растворимости в твердой металлопродукции, что призвано исключить выделение излишнего водорода при затвердевании с инспированием описанных выше дефектов.

УДК 669.184

Б.М. Бойченко[1], А.С. Заспенко[2]

[1] – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;

[2] – ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского», г. Днепропетровск

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДУТЬЕВЫХ РЕЖИМОВ В КОНВЕРТЕРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ

Оснащение сталеплавильных лабораторий и цехов новым программным обеспечением позволило с помощью математического и физического моделирования расширить разнообразие конвертерных дутьевых устройств, главным образом, для повышения производительности и снижения потерь металла при продувке.

В двух новых конвертерных цехах Японии реализуется интенсивность продувки кислородом 5 $м^3$/(т.мин.), ее длительность всего 9 мин. Применяют фурмы с 2-мя типами сопел: три сопла с большими диаметром и углом наклона к вертикали (15^0) и три сопла - с равномерным размещением между первыми и на том же диаметре торца наконечника – с маленьким диаметром и углом к вертикали (10^0). Размещение устраняет наложение друг на друга реакционных зон, сформированных каждым соплом, и формирование пыли подавляется. Сопла большого диаметра обеспечивают интенсивные рафинирование и перемешивание ванны, а маленькие уменьшают всплески.

Чтобы не уменьшать интенсивность продувки на первой части кампании по футеровке (до 1000-й плавки при общей ее стойкости ~ 4000), пока удельный объем конвертера низок и вероятность выбросов из агрегата высока, используют фурму с 5-ю соплами (вместо 6) большего диаметра для «жесткой» продувки, а в дальнейшем продувку ведут 6-сопловой фурмой, также увеличив диаметры ее сопел на 12-20% и в итоге сократив длительность цикла плавки с 32,5 до 31,0 мин. Подобный эффект получен ранее на отечественных заводах, затем – на австрийских.

Ожидается повышение производительности конвертеров и улучшение ряда других технологических показателей от использования кислородных фурм со смещенными осями сопел Лаваля относительно их центра, сопел специального профиля, создающего пульсирующую продувку.

Результаты успешного опробования так называемой «бесшлаковой» фурмы, в которой внешняя стальная заменена на определенной для каждого конвертера длине медной трубой для уменьшения или даже устранения формирования настыли на поверхности фурмы, следующие: значительно увеличился период между очистками налипшей стали; длительность работы наконечника возросла примерно в 3 раза; производственные простои на очистку от настыли сократились более чем на 95%; для достижения технологических целей фурма надежно функционирует на высоте, меньшей номинальной на 44%.

Большую ясность получили вопросы размещения в днище конвертера донных фурм при комбинированной продувке кислородом сверху и нейтральным газом снизу. Известные работы однозначны в рекомендациях устанавливать их симметрично на одной окружности вместо принятых ранее эллиптической или зигзагообразной конфигураций, при диаметре фурм $\leq$ 5 мм. Это обеспечивает интенсификацию перемешивания ванны даже при меньшем расходе нейтрального газа и снижает износ днищ.

На обширном экспериментальном материале получена дополнительная информация о широко распространенной в Японии и испытанной в Китае технологии продувки описанными новейшими дутьевыми устройствами, совмещенной с прямым легированием металла марганцевой рудой в кислородном конвертере. Технология обеспечивает степень извлечения марганца из руды на уровне 60-80% при бесшлаковом процессе, но не экономична при продувке обычного передельного чугуна даже при пониженном содержании в нем серы.

УДК 669.162.212

С.Б. Бойченко, Ю.С. Пройдак, Е.В. Синегин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ ПРИ ВДУВАНИИ В СТАЛЬ АРГОНА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Физическое и математическое моделирование процессов, имеющих место в промковшах при непрерывной разливке стали, не исчерпали себя, поскольку конструкция промковшей еще далеко не совершенна. Особенно важен этот вопрос при повышенных расходах вдуваемого аргона, что характеризирует процессы вымывания из жидкой стали водорода [1].

Гидродинамику расплава в промковше шестиручьевой МНЛЗ, разливающей флокеночувствительные высокопрочные стали, определили с использованием прикладного программного пакета «Ansys FLUENT 14.0».

Для решения задач компьютерного моделирования применили встроенную k-ε модель турбулентности, позволяющую получить адекватную картину потоков в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

Получена целесообразная схема размещения перегородок, продувочных блоков в промковше, приведенная на рис. 1.

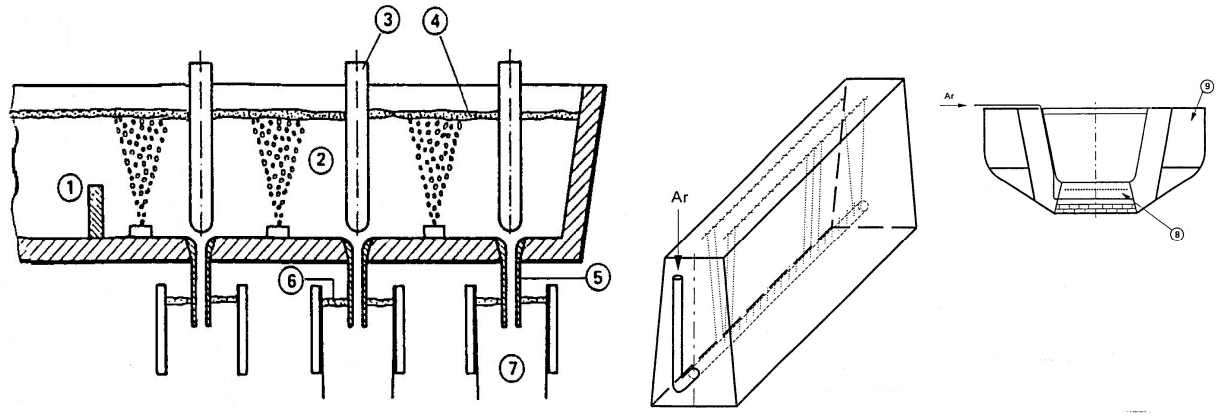


Рис. 1. Схема размещения элементов промковша МНЛЗ, обеспечивающая рафинирование стали от водорода и шлаковых включений: 1 – перегородка; 2 – пузырьки Ar; 3 – стопор-моноблок; 4 – шлак промковша; 5 – погружной стакан; 6 – шлак кристаллизатора; 7 – кристаллизатор; 8 – пористые элементы; 9 – промковш.

Применительно к конкретным параметрам: скорость и температура разливки, емкость промковша и уровень металла, количество удаляемого в нем водорода и шлаковых включений, «резидентное время» - при использовании модели может быть определена гидродинамическая обстановка, обеспечивающая приповерхностный

профиль ламинарного течения жидкого металла, высокую степень его очистки от водорода и неметаллических включений, отсутствие в ковше застойных зон, защиту стали от вторичного окисления, равенство температур стали в кристаллизаторах средних и крайних ручьев.

Список литературы

1. *Бойченко С.Б.* «Механизм и кинетика процессов, определяющих содержание водорода в стали в промежуточном ковше МНЛЗ» / *С.Б. Бойченко, Ю.С. Пройдак, Б.М. Бойченко* // Процессы литья. – 2013. – № 3(99). – С. 12-17.

УДК 669.147

С.Б. Бойченко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЯ НА МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ШЛАКА ПРИ ПРОДУВКЕ СТАЛИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ АРГОНОМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Продувка стали аргоном в промежуточном ковше (промковше) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) при заметных расходах Ar предназначена для удаления из металла водорода и неметаллических включений [1]. Интенсивность продувки должна быть достаточной, чтобы ассимилировать водород пузырьками всплывающего газа, но и ограниченной во избежание вовлечения нисходящими к разливочным стаканам потоками жидкой стали шлаковых включений, уже вынесенных в шлаковую фазу.

Модель, использованная в настоящем исследовании, представляла собой прозрачный пластиковый сосуд, изготовленный по форме шестиручьевого промковша емкостью 32 т в масштабе 1/10. Воздух, имитирующий аргон, вводили через донные пористые двухрядные вставки, расположенные перед каждым стаканом – дозатором. Для моделирования поведения жидкой стали использовали воду, шлака и неметаллических включений – жидкое парафиновое масло желтого цвета.

Динамика процесса продувки записана с помощью цифровой видеокамеры в течение длительного времени. Записанные изображения впоследствии переданы на персональный компьютер и обработаны с помощью программы анализа изображений. Это позволило четко определить границы раздела вода – масло, эпюры скоростей потоков в вертикальных и горизонтальных сечениях модели, рекомендовать

целесообразное размещение перегородок и продувочных блоков в промковше МНЛЗ.

Список литературы

1. *Бойченко С. Б., Пройдак Ю. С., Бойченко Б. М.* «Механизм и кинетика процессов, определяющих содержание водорода в стали в промежуточном ковше МНЛЗ» // Процессы литья. – 2013. - № 3 (99). – с. 12-17.

УДК 669.1

А.А. Бурбелко, Й. Почонтек

AGH University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, Krakow

УСРЕДНЕННЫЙ ПОЛИЭДР ВОРОНОГО В МОДЕЛИРОВАНИИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Моделирование роста равноосных зерен, контролируемого диффузией, является элементом многих микромоделей фазовых превращений, используемых для прогнозирования процессов кристаллизации металлических сплавов: однофазной, перитектической или эвтектической в сплавах типа чугуна с шаровидным графитом. В известных математических моделях принимается, как правило, идеализированная трехмерная сферическая геометрия *элементарного поля микро-диффузии* (ЭПМД). При этом остаётся нерешенным вопрос правильного моделирования заключительного этапа кристаллизации, когда геометрия диффузионных потоков сильно отличается от идеализированной, а граница контакта между растущей твёрдой фазой и исчезающей жидкой быстро уменьшается в результате столкновения соседних зёрен.

Габаритный размер ЭПМД во многих известных моделях [1-4] рассчитывается на основании средней величины зерна:

$$r_o = \left(\frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \qquad (1)$$

где N – удельное количество зёрен, $м^{-3}$.

При условии случайного равномерного распределения сферических зерен такого размера в пространстве, согласно статистической теории кристаллизации [1], более 1/3 всего объема анализируемого материала фактически будет находится за пределами ЭПМД. В связи с этим в некоторых моделях габаритная величина элементарного объема увеличивается по сравнению с величиной, рассчитанной согласно

уравнению (1). При этом нарушается баланс массы, поскольку суммарный объем всех ЭПМД превышает фактический объем образца.

Для описания структуры равноосных зёрен часто используется разбиение Вороного. Согласно [5], при разбиении трехмерного пространства на полиэдры Вороного среднюю величину объема части пространства полиэдра, находящейся на расстоянии от его центра, не превышающем *r*, определяет следующее уравнение:

$$V(r) = \frac{1}{n}\left(1 - \exp\left(-\frac{4}{3}\pi n r^3\right)\right) \tag{2}$$

Площадь поверхности, отделяющей внутреннюю часть усредненного полиэдра Вороного, от его внешней части, можно определить следующим образом:

$$F(r) = \frac{dV(r)}{dr} = 4\pi r^2 \cdot \exp\left(-\frac{4}{3}\pi n r^3\right) \tag{3}$$

Учитывая уравнения (2) и (3), предложено использовать конечно-разностный метод моделирования поля микро-диффузии, используя в качестве разностных элементов элементарного баланса концентрические слои усредненного полиэдра Вороного, объем которых равен:

$$\Delta V_i = \frac{1}{n}\left\{\exp\left(-\frac{4}{3}\pi n r_i^3\right) - \exp\left[-\frac{4}{3}\pi n r_{i+1}^3\right]\right\} \tag{4}$$

Для таких балансовых элементов разностное уравнение элементарного баланса может быть представлено в виде:

$$\Delta V_i \cdot \frac{C_i(\tau + \Delta\tau) - C_i(\tau)}{\Delta\tau} = D(r_i) \cdot grad[C(r_i)] \cdot F_i - D(r_{i+1}) \cdot grad[C(r_{i+1})] \cdot F_{i+1} \tag{5}$$

где: *C* – локальная концентрация раствора, *D* – коэффициент диффузии, τ – время, Δτ – шаг дискретизации по оси времени.

Список литературы

1. KapturkiewiczW. Modelowanie Krystalizacji Odlewów żeliwnych, WN AKAPIT, Kraków, 2003, s. 1–173.
2. DasA., MannaI., PabiS. K. A numerical model of peritectic transformation //Acta mater. – 1999. –Vol. 47, No. 4. –P. 1379–1388.
3. TanzilliR. A., HeckelR. Numerical Solution to the Finite Diffusion-Controlled, Two_Phase, Moving_interface Problem (with Planar, Cylindrical, and Spherical Interfacees) // Transactions of the Mettalurgical Society of AIME. – 1968. – Vol. 242. – P. 2313-2321.

4. LanamR. D.,HeckelR. W. A study of the effect of an Intermediate Phase on the Dissolution and Homogenization Characteristics of Binary Alloys // Metallurgical Transactions. – 1971. – Vol. 2. – P. 2255-2266.
5. Колмогоров А.Н. К статистической теории кристаллизации металлов // Изв. АН СССР. Сер. матем. – 1937. – 1:3. – С. 355-359.
Исследования выполнены при финансовой поддержке Национального центра научных исследований Польши (Polisch NCNproject nr DEC-2011/01/B/ST8/01689)

УДК 621.746

А.Г. Величко, Б.М. Бойченко, Е.В. Синегин, С.Б. Бойченко
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

АКТУАЛЬНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Технология основана на обобщении фундаментальных исследований и обширного экспериментального материала, накопленных в мировой практике. Её концепция такова.

Уровень выхода годного металла, достигнутый на действующих МНЛЗ обычной конструкции, в настоящее время приближается к своему предельному значению. Дальнейшие усовершенствования возможны за счёт повышения производительности, что обеспечивается увеличением массовой скорости разливки, сокращением числа прорывов металла, а также повышением качества металла при применении управления процесса с использованием ЭВМ.

Ключевыми факторами, определяющими производительность МНЛЗ, являются коэффициент использования МНЛЗ, а также массовая скорость разливки, определяемая произведением сечения на литейную скорость.

В последнее время на МНЛЗ широко используется непрерывная разливка методом «плавка на плавку». Это обусловлено, в первую очередь, надлежащей конструкцией МНЛЗ и вспомогательного оборудования, например, устройством для смены погружных стаканов, автоматическим изменением ширины кристаллизатора и т.д.

В настоящее время, учитывая достигнутый уровень технологии, следует подчеркнуть, что продолжительность серийной разливки ограничивается не конструкцией МНЛЗ, а марочным сортаментом или наличием разливаемой стали.

Частоту прорывов металла, являющихся основным риском при непрерывной разливке, можно существенно уменьшить за счёт применения систем предсказания прорывов, которые основываются на данных измерения температур термопарами на различной высоте кристаллизатора. Такие системы часто используют на слябовых МНЛЗ, а на блюмовых и сортовых заготовках применяют значительно реже.

Важное значение в технологии имеет промежуточный ковш, который рассматривается не только как ёмкость для распределения жидкой стали по ручьям, но и как рафинировочный агрегат. В настоящее время разработана методика моделирования внутренней полости ковша, размещения в ней различного рода перегородок, фильтров, гасителей, продувочных блоков, которые в значительной степени способствуют оптимальной организации потоков жидкой стали, перемещению неметаллических включений и их ассимиляции покровным шлаком, завершающему очищению жидкой стали от водорода пузырьками нейтрального газа при переменном режиме его вдувания. Большое значение с точки зрения качественных показателей имеет увеличение емкости промежуточных ковшей (до 50-60т). С технологической точки зрения также интерес представляют: подогрев, рафинирование и возможное долегирование жидкой стали в промежуточном ковше, защита стали от вторичного окисления.

Наиболее существенную роль в технологическом процессе разливки выполняет кристаллизатор. Являясь первичным звеном кристаллизации заготовки, он во многом определяет ее качество, а именно поверхность, первичную структуру, геометрию. В последние годы вместо массивных горячекатаных плит со сверленными каналами для охлаждающей воды для слябовых и блюмовых МНЛЗ применяют тонкостенные кристаллизаторы из холоднодеформированных медных сплавов с фрезерованными каналами.

При реконструкции старых и строительстве новых МНЛЗ используют и такие традиционные технические решения, как регулирование конусности и ширины кристаллизатора в процессе разливки. Учитывая то, что узкие стенки слябового кристаллизатора изнашиваются быстрее широких, разработана система быстрой замены узких стенок непосредственно на рабочей площадке МНЛЗ.

Механизм качания кристаллизатора рессорного типа с гидравлическим приводом для слябовой МНЛЗ в отличие от применяемых рычажных электромеханических обеспечивает высокую точность траектории и соответствие заданному режиму, реализуя при этом различные законы качания, в том числе синусоидальный, трапецеидальный, пилообразный. Эксплуатация нового механизма позволяет значительно уменьшить размеры следов качания на поверхности сляба, полностью ликвидиро-

вать поверхностный дефект сляба «трещина по следам качания», исключает перекосы кристаллизатора и отклонение его от технологической оси МНЛЗ.

Значительный арсенал новых решений и усовершенствований относится к ЗВО. При этом в обязательном порядке должен быть выдержан температурно-скоростной режим разливки. С целью обеспечения определенного уровня температуры поверхности и сердцевины заготовки разработаны и эксплуатируются широкодиапазонные водовоздушные форсунки для охлаждения непрерывнолитой заготовки водовоздушным туманом, оригинальные конструкции смесительных узлов и коллекторов ЗВО.

Опорная зона МНЛЗ претерпевает усовершенствование в каждом конкретном случае отдельно. Общими критериями являются: жесткость конструкции, обеспечивающая точность оси в пределах $\pm 0{,}5$ мм; ограничение деформации роликов на слябовых МНЛЗ за счет применения роликов с промежуточными опорами, а выпучивания слябов – за счет уменьшения диаметра роликов и, таким образом, расстояния между ними; увеличение длины бочки роликов на блюмовых МНЛЗ и вынос подшипниковых узлов из горячей зоны, что обуславливает повышение стойкости подшипников, работоспособности ролика и снижение дефекта блюма «ликвационные полоски».

Однако, наиболее существенным достижением является создание конструкции и технологии мягкого обжатия заготовок с неполностью затвердевшей сердцевиной. Четко установлено, что наибольший эффект обжатия достигается при количестве твердой фазы в твердожидком состоянии в пределах 0,2-0,8. Разработан алгоритм управления процессом обжатия сляба с незатвердевшей сердцевиной, используемый в системе АСУТП мягкого обжатия. При работе МНЛЗ с применением мягкого обжатия рабочая скорость вытягивания сляба увеличена с 0,50-0,55 м/мин до 0,65-0,70 м/мин. При входе конца жидкой фазы в тянущеобжимные клети по разработанному алгоритму увеличивается давление в гидроцилиндрах прижатия валков. В результате этого уплотняется сердцевина, выдавливаются ликваты и дробятся дендриты, улучшается структура осевой зоны сляба.

Получает распространение технология, альтернативная мягкому обжатию, суть которой сводится к введению в кристаллизатор МНЛЗ металлических макро- или микрохолодильников, по составу близких к разливаемому металлу. Первые чаще всего вводятся в кристаллизатор в виде ленты посредством трайб-апарата. Использование микрохолодильников в форме железного порошка позволяет инициировать объёмную кристаллизацию стали, значительно повышая, таким образом, производительность машины и качество отливаемой заготовки.

Традиционно решаются вопросы изготовления и применения шлакообразующих смесей (ШОС) для промежуточных ковшей и кристаллизаторов, как правило, собственными силами предприятий с использованием местных компонентов составляющих ШОС. Разработана концепция выбора оптимальных составов ШОС.

Важным этапом в развитии технологии непрерывной разливки является применение автоматизированных систем контроля качества, т.е. систем для получения «бездефектных непрерывнолитых заготовок», что важно при применении энергосберегающей технологии «горячего посада», а особенно получении металлопродукции на литейно-прокатных модулях (ЛПМ).

Особо следует отметить перспективность низкотемпературной технологии непрерывной разливки стали, которая лишена основных недостатков существующей технологии и предусматривает:

- поддержание температуры в объеме расплава с точностью $\pm 5\ ^0$C и хорошую жидкотекучесть при минимальном перегреве над линией ликвидус;
- минимальную продолжительность прохождения расплава от сталеразливочного ковша до кристаллизатора через закрытые огнеупорные трубы;
- высокопроизводительный процесс непрерывной разливки стали методом «плавка на плавку» в кристаллизаторы, сохраняющие контакт с оболочкой слитка;
- применение технологии производства непрерывнолитых заготовок, обеспечивающей возможность их горячего посада перед прокаткой.

Все это относится к традиционным МНЛЗ и в этом контексте несколько слов следует сказать о комбинированных МНЛЗ, которые в значительной степени способствуют увеличению производительности и расширению возможностей МНЛЗ при сохранении их компактности. Комбинированные МНЛЗ (сляб-блюм) позволяют не только сокращать капитальные затраты, но и сокращать потребности в площадях и обслуживающем персонале.

Вариантов конструктивного решения комбинированных МНЛЗ может быть множество, однако, цель преследуется одна – организация производства широкого размерного сортамента с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

Традиционно процесс получения качественных листов, лент и сортового проката связывали с высокими степенями обжатия металла по толщине. Однако успехи, достигнутые при внепечной обработке чугуна и стали, обеспечивающие получение чистого по сере и фосфору металла с хорошо усредненными составом и температурой в объеме сталеразливочного ковша, а также реализация систем и способов регули-

рования температуры и уровня жидкого металла в промежуточных ковшах и кристаллизаторах, в сочетании со средствами защиты разливаемой стали от вторичного окисления, привели к исключению стадий инспекции качества поверхности и абразивной зачистки литых заготовок и переходу на подачу в нагревательные устройства прокатных станов горячих заготовок или к процессу их прямой прокатки. Разливку и прокатку объединяют в единые литейно-прокатные модули.

К настоящему времени ведущими зарубежными фирмами предложены и совершенствуются различные концепции и разработано достаточно много компоновок ЛПМ. На мини-заводах применение ЛПМ позволяет обеспечить снижение капитальных и текущих затрат, энерго- и материальных ресурсов, затрат на обслуживание оборудования и его эксплуатацию, резко ускорить время выполнения заказов потребителей.

Например, удачной признана в мире разработка фирмы SMS-«Schloemann-Siemag» (Германия) для отливки тонких (40-50 мм) слябов с 30% обжатием в конце зоны затвердевания на МНЛЗ и последующей совмещенной прокаткой на четырехклетевом чистовом тандем-стане. Наличие обжимной клети в линии МНЛЗ позволило сократить металлургическую длину установки до 5 вместо 40 м. Использование метода легких обжатий непрерывнолитых слябов по толщине в зоне завершения процесса затвердевания жидкой сердцевины снижает степень развития осевой сегрегации.

Создание МНЛЗ с подвижным кристаллизатором ленточного и роликового типа, приведших к реализации отливки заготовок толщиной 10 мм с удовлетворительным состоянием поверхности, привело к полному отказу от стадии горячей прокатки и созданию схем холодной прокатки тонких непрерывнолитых заготовок. Причем непрерывная разливка стали и сплавов в заготовки тонких сечений, близких к сечению готовой продукции, позволяет получать металл с однородной и тонкой структурой.

Анализ наиболее интересных и перспективных ЛПМ как построенных и находящихся в эксплуатации, так и на стадии разработки показывает, что однозначного заключения о применимости в будущем агрегатов только одного типа быть не может. В настоящее время выработаны определенные критерии по оценке эффективности размещения или дооборудования металлургических предприятий различной мощности в зависимости от наличия сырья, топлива, расстояний до потребителя, наличия трудовых ресурсов и др. Сумма этих критериев определяет перспективу как супергигантов металлургии, так и мини-заводов. В будущем свое место найдут как традици-

онная технология непрерывной разливки и последующей прокатки, так и технология литья заготовок, близких по размерам к готовой продукции.

В целом, в XXI веке в распределении долей рынка происходит сдвиг в сторону новых технологических процессов.

УДК 669.184

А. Г. Величко, С. Б. Бойченко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Роль вторичной («ковшевой») металлургии в настоящее время высока, как никогда ранее. Ключевая роль отводится выделениям на наноуровне неметаллических избыточных фаз и/или упрочняющих структурных составляющих, формирование которых должно происходить на определенных стадиях обработки стали. В будущем повышение эффективности оценки чистоты металлопродукции будет достигнуто за счет текущего контроля качества на всех стадиях производства стали и корреляции этих данных с конечными испытаниями.

Агрегаты для вторичной металлургии типа ковш-печь с вакуумированием наиболее многопрофильны, в них можно проводить практически всю обработку стали, особенно если предусмотрена возможность скачивания шлака из ковша. Они пригодны для производства всех выпускаемых в настоящее время сталей и легко размещаются в действующих конвертерных цехах. Промежуточный ковш (промковш) машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) также последовательно превращается в завершающий рафинировочный агрегат для удаления шлаковых включений, водорода, защиты стали от вторичного окисления, подогрева и возможного долегирования стали непосредственно перед ее кристаллизацией. Совершенствование агрегатов направлено, главным образом, на создание условий, способствующих ускорению и углублению хода процессов рафинирования.

Это, в первую очередь, мероприятия, способствующие интенсификации перемешивания металла в ковше. Они необходимы для всех видов внепечной обработки. В ковше-печи, агрегатах циркуляционного вакуумирования и промковшах МНЛЗ они осуществляются за счет совершенствования оборудования для ввода инертного газа, оптимизации расположения продувочных устройств, периода и интенсивности

(режима) ввода газа, совершенствования гидродинамики расплава; для агрегатов порционного и циркуляционного вакуумирования - совершенствованием конструкции камеры и патрубков, в агрегатах типа ковш-печь также начинают применять электромагнитное перемешивание, часто в сочетании с продувкой аргоном.

Следует учесть, что на многих зарубежных заводах, учитывая постоянное усложнение сортамента выплавляемых сталей и необходимость достижения чрезвычайно высокого уровня комплекса требований к их качеству и свойствам, считают необходимым иметь в конвертерных цехах набор разных средств и методов внепечного рафинирования – так называемых гибких технологий - для обеспечения решения практически любой задачи.

Крайне важным направлением является создание новых марок сталей, имеющих максимально высокие технологические и эксплуатационные свойства применительно к конкретным изделиям. Следует ожидать, что в ближайшее время будут интенсивно развиваться направления производства высокопрочных сталей, а также сталей с суммарным содержанием вредных примесей S, P, O, N, H ниже 100 ppm.

Вакууматоры типа DH широко используются в вакуумной обработке стали. Однако скорость обезуглероживания в них значительно меньше, чем в вакууматорах RH-типа. Компанией «Nippon Steel» изобретен и пущен в работу вакууматор нового типа, сочетающий в себе простоту и небольшие затраты на огнеупоры (обработка происходит в обычном сталеразливочном ковше) с преимуществами быстрого циркуляционного вакуумирования.Устройство состоит из одной отсасывающей газы трубы большого диаметра, неглубоко погруженной в сталь, и донной продувки стали аргоном через противоположно расположенную фурму. Восходящий циркуляционный поток большого объема создает на поверхности стали внутри трубы металло-газовую эмульсию, подвергающуюся воздействию вакуумной атмосферы. Процесс также успешно применяется для рафинирования нержавеющей стали.

Также новым является обезуглероживание стали до ультранизких концентраций, удаление водорода и в ряде случаев азота в циркуляционных вакууматорах с подачей кислорода через водоохлаждаемую фурму в вакуумную камеру при так называемом “KTB-процессе” (Kawasaki Top Blowing). Если принять во внимание уже исследованные возможности дальнейшего повышения эффективности внепечной обработки с использованием способа “KTB”, в том числе вдуванием флюсов через фурму, то можно считать, что способ “KTB” станет основой для сосредоточения всех функций внепечного рафинирования сталей. В последнее время число таких комплексных агрегатов растет быстрыми темпами. Нам необходимо также учитывать,

что в развитых странах с применением различных методов внепечного рафинирования выпускается 80% сталей (для изделий ответственного назначения).

УДК 669.184

А.Г. Величко, С.Б. Бойченко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В КОНВЕРТЕРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ

Системы автоматического управления конвертерным процессом на разных заводах заметно отличаются: от полностью автоматизированных до управления отдельными операциями (шихтовкой, расходом кислорода, вводом флюсов и т.д.). Наиболее прогрессивные реализуют «прямой выпуск» стали в момент получения заданного химического состава и температуры, определенный достаточно точными расчетами. Система с погружением сенсорного датчика в конвертерную ванну включает статическую модель расчета шихты, динамическую модель контроля химического состава и температуры металлической ванны в процессе продувки по анализу отходящих газов и прямыми измерениями с помощью сенсорных датчиков, а также модель «прямого выпуска» с определением момента окончания продувки. Модель рассчитывает содержание углерода, марганца и фосфора, сравнивает с результатами прямого измерения датчиками и выполняет корректировку. Специальная модель определяет содержание азота, серы и цветных металлов (Cr, Ni, Mo, Cu). По результатам определений производится «прямой выпуск».

На многих заводах мира в общую систему автоматизации процесса включена автономная система регулирования шлакообразования и предотвращения выбросов по типу системы НМетАУ. Система включает: виброметр на кислородной фурме, регистрирующий вибрацию фурмы, отражающую изменение уровня кинетической энергии газа в процессе вспенивания шлака; модель металлургических реакций, которая служит для определения физических свойств шлака и оценки его склонности к вспениванию на основе информации о процессе продувки. На основе обработки информации по этим трем компонентам комплексно оценивают вероятность выбросов. Если она превышает некоторое пороговое значение, система автоматически выбирает параметр управления и реализует его (высота подъема фурмы, расход кислорода на верхнюю продувку, расход газа на донную продувку, масса загружаемых материалов).

Особое место занимает автоматизация процессов непрерывной разливки стали. При этом, кроме традиционных элементов автоматизации, в последнее время активно используются: контроль появления шлака в стакане сталеразливочного ковша; автоматический пуск машины; контроль и управление уровнем металла в кристаллизаторе; контроль теплового состояния кристаллизатора и предупреждение возможных прорывов; автоматическая настройка конусности кристаллизатора и опорных секций зоны вторичного охлаждения (ЗВО); динамическое управление режимами вторичного охлаждения; контроль конца жидкой фазы и управление обжимными клетями устройства «мягкого обжатия»; контроль процесса разливки, отлитой заготовки, мерной длины, порезки и маркировки.

В настоящее время все системы автоматизации в той или иной степени объединяются в общую систему управления качеством непрерывнолитых заготовок. Цель одна – получение бездефектной продукции.

Надо подчеркнуть, что операционные компьютеры конвертерных цехов вместе с моделями управления обновляются не реже 1 раза в 4 года. Постоянно возрастает точность вычислений в результате расширения возможностей программ и учета новой информации о потерях и запасах теплоты в ходе износа огнеупорной футеровки, изменениях длительности этапов плавки, результатах предыдущих продувок в конвертере, что позволяет уменьшать удельные расходы шихтовых и вспомогательных материалов.

УДК 669.11.622

В.Н. Власенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОКОМКОВАНИЯ И СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ШИХТ В ПРИСУТСТВИИ ТОНКОИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ИЗВЕСТИ

Современный уровень развития черной металлургии характеризуется интенсивным вовлечением в металлургический передел тонкозернистых материалов – концентратов и железосодержащих отходов металлургического производства – с явной тенденцией непрерывного повышения их доли в аглошихте. Уменьшение крупности шихты сопровождается ухудшением ее газопроницаемости и снижением производительности агломашин. Одним из наиболее эффективных способов интенсификации спекания тонкозернистых материалов является ввод в шихту извести. На отечест-

венных аглофабриках используют в основном два способа ввода извести. Первый заключается в известковании руды или концентрата в штабеле на рудном дворе, второй – в подаче извести в свежеобожженном виде непосредственно в шихту перед смешиванием и увлажнением в барабане-окомкователе. Наиболее активно интенсифицирует процесс спекания свежеобожженная известь, присадка которой в количестве 4-7% от веса шихты увеличивает производительность агломерационных машин на 25-40% / 1 /.

Для улучшения усвоения свежеобожженной извести в условиях аглофабрики Днепровского металлургического комбината проводится ее предварительная гидратация мелкораспыленной водой через форсунки. Однако в условиях ограниченного времени контакта с шихтой большие кусочки извести не успевают полностью прогидратировать и равномерно распределиться в объеме шихты. Кроме того, действующие на комбинате обжиговые машины тарельчатого типа позволяют получать известь крупностью 3-12 мм со степенью обжига 50-80 %. При использовании такой извести в шихте невозможно избежать наличия больших кусков неразложившегося известняка, которые не усваиваются в процессе спекания и существенно снижают прочность агломерата.

С целью усовершенствования технологии известкования тонкодисперсных шихт в работе проведены исследования спекания агломератов с использованием извести, полученной с тарельчатых обжиговых машин. В опытах варьировали крупность, расход, способ ввода извести, а также количественные соотношения крупно- и мелкозернистой частей шихты.

Выявлена целесообразность дополнительного измельчения извести до фракции -0,4 мм, что повышает коэффициент скорости грануляции шихты и оптимизирует ее гранулометрический состав, снижая количество мелких фракций. Уменьшение размера частиц извести по фракции -0,4 мм увеличивало комкующую способность шихты и способствовало увеличению количества гранул предпочтительного диаметра (3-6 мм). Агломераты, спеченные в присутствии тонкоизмельченной свежеобожженной извести, характеризовались повышенными на 7-9 % показателями прочности на удар.

Установлены оптимальные режимы увлажнения шихты при разных расходах тонкоизмельченной извести. С целью интенсификации процесса окомкования и повышения прочности гранул предложена частичная замена воды при увлажнении шихты водяным паром с перераспределением количества влаги по длине барабана-окомкователя.

Известкование гранул известью способствует их упрочнению и поддержанию оптимальных значений газопроницаемости агломерируемого слоя. Предложен ступенчатый ввод тонкоизмельченной извести с подачей части ее (до 50 %) в накат в период роста и упрочнения гранул, что обеспечивало повышение прочности агломерата на удар на 9-11 % и снижало количество мелочи (-0,5 мм) на 2-4 %.

Изучено влияние соотношения комкуемой и комкующей частей шихты на качество грануляции. Установлено, что для оптимизации структуры слоя и стабилизации его гранулометрического состава необходимо вводить в шихту известь крупностью -0,4 мм и возврат (1,6-7,0 мм) из расчета 5 % (по массе) возврата на каждые 10 % концентрата и 0,5-0,7 % извести. Спекание таких регламентированных по гранулометрическому составу шихт сопровождалось повышением показателей прочности агломерата на 10-12 %, что в соответствии с результатами минералогических исследований связано со сменой оливиновой связки в структуре агломерата на более прочную ферритную и уменьшением количества хрупкой составляющей – стекла.

Список литературы

1.Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации / Е.Ф. Вегман. – М.: Металлургия. – 1974. –288 с.

УДК 621.746.047

В.Г. Герасименко[1], Б.М. Бойченко[1], Е.В. Синегин[1], Л.С. Молчанов[1], Д.А. Мусунов[2]

[1] – Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

[2] – «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВНЕШНЕМ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Одним из способов инициации объёмной кристаллизации стали являются методы, основанные на разрушении фронта кристаллизации концентрированными источниками энергии. К числу этих методов относятся электрогидроимпульсное воздействие (ЭГИВ), литьё под давлением (газодинамическая обработка, «мягкое» обжатие и т.д.), вибрационная, ультра- и инфразвуковая обработки металла. Применение этих методов решает сразу три задачи: 1) уменьшение химической и физической неоднородности литого металла, 2) интенсификация затвердевания, измельчение структуры литого металла и 3) устранение зоны транскристаллизации.

Эффект ЭГИВ на структурообразование сляба наилучшим образом объясняется теорией А. Оно, согласно которой кристаллы зарождаются на стенке формы или на охлажденной поверхности расплава и растут с образованием шеек (*necked-shape*) [1]. Развитие подобных дендритных ветвей описано Д. Саратовкиным [2]. Под действием конвективных потоков эти шейкообразные кристаллы отделяются от места зарождения до завершению формирования твердой оболочки и накапливаются с образованием равноосной структуры. При разливке в изложницы этот процесс приводит к образованию конуса осаждения с отрицательной ликвацией, а при непрерывной разливке – к образованию зоны отрицательной ликвации на внешнем радиусе заготовки [1]. Из этого следует, что ЭГ-воздействие, аналогично вибрационному, приводит к возникновению кавитационных потоков, вызывающих отделение ветвей дендритов и распространение их в объёме жидкой фазы [3].

Эксперименты проводили на четырёхручьевой вертикальной МНЛЗ Донецкого металлургического завода при разливке стали Ст3сп согласно действующей технологической инструкции. Методика проведения исследования и анализ экспериментальных данных приведены в работах [4,5].

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. Оно А. Затвердевание металлов. Пер. с англ. Э.В. Захарченко / Под ред. В.А. Ефимов. – М.: Металлургия, 1980. – 152 с.

2. Саратовкин Д.Д. Дендритная кристаллизация / Д.Д. Саратовкин. – М.: Металлургиздат, 1957. – 127 с.

3. Y. Iton. On Refining of Solidification Structure of Ferritic Stainless Steel by Vibration Method / Y. Iton, T. Okajima, K. Tashiro // Transactions of ISIJ. – 1981. – №6. – P. 397-404.

4. Герасименко В.Г. Влияние электрогидроимпульсного на физическую однородность стали / В.Г. Герасименко // Бюллетень "Чёрная металлургия". – 2012. – №7. – С. 58-62.

5. 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 669.184.16

Ю.А. Гичёв[1], Т.А. Василькив[2], В.А. Перцевой[2]

[1] – Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

[2] – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск

СТРУКТУРА ГАЗОВОЙ СТРУИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБРАТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПРИ ПРОДУВКЕ РАСПЛАВА

Газодинамические и акустические характеристики газовых струй тесно связаны между собой. В первую очередь это касается звуковых и сверхзвуковых струй.

Известно, что при истечении из сопла, звуковые и сверхзвуковые газовые струи генерируют звуковое излучение, которое способно изменять структуру, газодинамические характеристики и, собственно, само звуковое излучение струи.

Акустическому излучению звуковых и сверхзвуковых газовых струй присущи следующие особенности:

• интенсивность акустического излучения распределяется по частотам неравномерно;

• на определенных частотах интенсивность излучения значительно увеличивается (такие частоты имеют название дискретной составляющей или дискретного тона).

Эффект обратной акустической связи (ОАС) может рассматриваться как влияние собственного акустического излучения струи определенной (дискретной) частоты на структуру газодинамического (начального) участка струи, т.е. на скачки уплотнения. Влияние ОАС на скачки уплотнения приводит к отклонению (раскачиванию) скачков уплотнения, следствием чего является их разрушение.

Пренебрежение влиянием собственного акустического излучения на структуру струи приводит к значительной погрешности при расчете ее газодинамических ха-

рактеристик. В связи с этим проведено экспериментальное исследование влияния ОАС на диссипацию энергии звуковых и сверхзвуковых газовых струй.

В экспериментальных исследованиях имитация среды, с которой взаимодействует струя, выполнена с помощью цилиндрической емкости. Такая имитация является вполне приемлемой, поскольку, например, при продувке металла в конвертере или ванны мартеновской печи струя формирует цилиндрическое углубление в расплаве металла.

Сущность эксперимента заключалась в измерении давления на торец цилиндрической емкости, который имитировал поверхность расплава металла, например, в конвертере.

Для обобщения экспериментальных данных и получения зависимостей, связывающих диссипацию энергии струи с геометрическими и динамическими характеристики сопла и газовой струи в виде критериального уравнения, использовалась теория подобия.

Зависимость газодинамического подобия для случая фронтального взаимодействия струи представляется следующим образом:

$$\overline{P}_{\text{абс т}} = c \cdot \overline{P}_{c0}^{n} \cdot \overline{d}^{m} \qquad (1)$$

Симплексы, характеризующие относительное давление воздуха на днище цилиндрической емкости и давление воздуха перед соплом, определяются соотношениями:

$$\overline{P}_{\text{абс т}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{абс т}} / P_{\text{атм}} \qquad (2)$$

$$\overline{P}_{c0} = P_{\text{атм}} + P_{c0} / P_{\text{атм}} \qquad (3)$$

Потери давления газовой струи $_{\Delta}P$ (в процентах от относительного давления газа перед соплом $\overline{P}_{c0}$) за счет влияния ОАС на структуру струи, определяются по формуле:

$$_{\Delta}P = \left(\overline{P}_{\text{абс т}} / \overline{P}_{c0}\right) \cdot 100 \qquad (4)$$

Коэффициенты c, n и m в уравнении (1), вычисленные по результатам экспериментальных данных, представлены в таблице.

Таблица - Коэффициенты критериального уравнения при фронтальном взаимодействии струи с поверхностью расплава

Коэффициент	c	n	m
Значение	2,42	0,59	1,0

Уравнение (4) с учетом значений коэффициентов, представленных в таблице, могут быть использованы для определения диссипации энергии звуковых и сверхзвуковых газовых струй за счет воздействия на них ОАС.

УДК 621.7.047:658.652

Ю.А. Гичёв[1], Т.А. Василькив[2], В.А. Перцевой[2]

[1] – Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

[2] – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ МНЛЗ ТРАНСЗВУКОВЫМИ ВОЗДУШНЫМИ СТРУЯМИ

В данной работе предлагается использовать для охлаждения непрерывнолитого слитка во вторичной зоне охлаждения МНЛЗ трансзвуковые струи воздуха.

Использование трансзвуковых струй воздуха для охлаждения слитка вместо дозвуковых струй позволит:

• значительно снизить диссипацию энергии струи воздуха между соплом и поверхностью слитка, а, следовательно, снизить расход воздуха, необходимого для охлаждения слитка;

• увеличить коэффициент теплоотдачи между поверхностью слитка и охлаждающим воздухом;

• расширить зону контакта струи с поверхностью слитка за счет более обширного растекания высокоскоростного потока воздуха.

При этом для достижения струей трансзвуковой скорости достаточно повысить давление воздуха перед соплом до 0,2 МПа.

Для оценки возможности реализации охлаждения трансзвуковыми струями выполнено экспериментальное исследование взаимодействия трансзвуковой струи воздуха с поверхностью непрерывнолитого слитка (см. рис.).

Суть эксперимента заключалась в измерении давления на днище канала при натекании на него струи воздуха.

Для обобщения экспериментальных данных и получения зависимостей, связывающих геометрические и динамические характеристики сопла и газовой струи в виде критериальных уравнений, использовалась теория подобия.

Симплексы, характеризующие относительное давление воздуха на днище тупи-

кового канала и давление воздуха перед соплом, определяются соотношениями:

$$\bar{P}_{\text{абс д}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{абс д}} / P_{\text{атм}} \quad (1)$$

$$\bar{P}_{c0} = P_{\text{атм}} + P_{c0} / P_{\text{атм}} \quad (2)$$

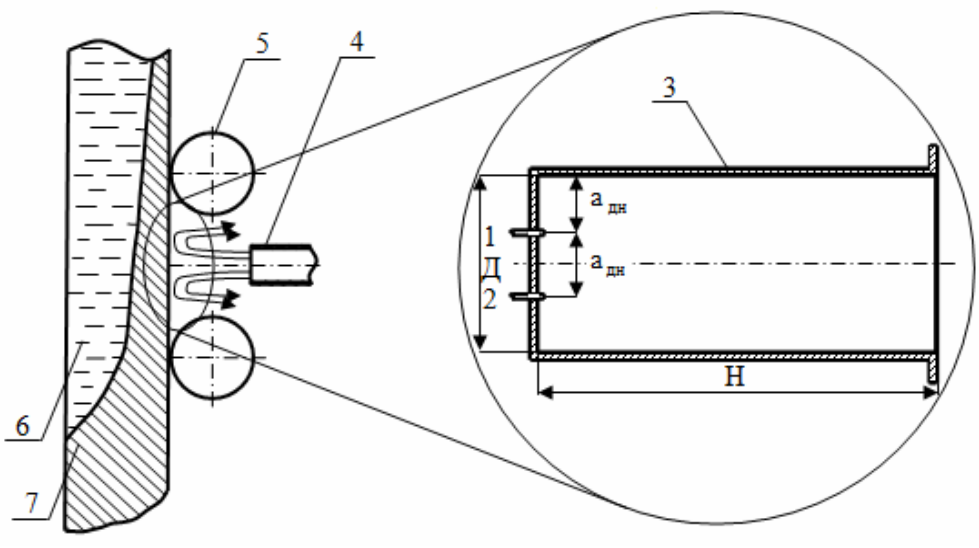


Рис. Схема взаимодействия струи воздуха с поверхностью слитка

1 и 2 – дренажные отверстия импульсных линий; 3 – тупиковый канал; 4 – сопло для подвода воздуха; 5 – поддерживающие ролики; 6 – жидкая фаза слитка; 7 – твердая фаза слитка; $a_{дн}$ – шаг дренажных отверстий вдоль днища тупикового канала; H – глубина тупикового канала; Д – диаметр тупикового канала

Критериальные зависимости газодинамического подобия для случаев фронтального и бокового натекания представляются следующим образом:

$$\bar{P}_{\text{абс д}} = c \cdot \bar{P}_{c0}^{n} \cdot \bar{d}^{m} \cdot \bar{h}^{k}, \quad (3)$$

$$\bar{P}_{\text{абс д}} = c \cdot \bar{P}_{c0}^{n} \cdot \bar{d}^{m} \cdot \bar{h}^{k} \cdot \varphi^{q} \quad (4)$$

Коэффициенты c, n, m, k и q в уравнениях (3) и (4), вычисленные по результатам экспериментальных данных, представлены в таблице.

Таблица – Коэффициенты критериальных уравнений при фронтальном и боковом натекании струи

Коэффициенты / Значения критерия Рейнольдса	c	n	m	k	q
$2{,}33 \cdot 10^5 < \text{Re} < 5{,}26 \cdot 10^5$	5,36	0,44	0,79	0,78	-
$2{,}33 \cdot 10^5 < \text{Re} < 4{,}67 \cdot 10^5$	11,38	0,99	0,82	-0,43	-0,37

УДК 621.175:658.2

Ю.А. Гичёв, А.Ю. Запотоцкая

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА

Обоснование возможности использования конвертерного газа для обжига известняка требует в первую очередь определения ожидаемого выхода извести, на основе которого можно судить о целесообразности разработки процесса. Выражение для определения ожидаемого выхода извести (см. рис. 1 и 2), полученное из уравнения теплового баланса процесса, имеет следующий вид:

$$m_{из} = \frac{Q_{кг}\eta_{об}}{[c_{изв}t_{д} + q_{д}m_{CaCO_3}\varepsilon + (c_{из}t_{об} - c_{из}t_{д})\cdot(1\text{-}0{,}44m_{CaCO_3}\varepsilon)]k_{изв}},$$

где $Q_{кг}$ – теплота конвертерного газа в расчете на 1 т стали; $\eta_{об}$ – тепловой к.п.д. обжига; $c_{изв}$, $c_{из}$ – теплоемкости известняка и извести; $t_{д}$ – температура диссоциации известняка; $q_{д}$ – расход теплоты на диссоциацию одного кг $CaCO_3$; m_{CaCO_3} – массовая доля $CaCO_3$ в известняке; ε – степень обжига; $t_{об}$ – температура обжига; 0,44 – доля молекулярной массы CO_2 в реакции диссоциации известняка; $k_{изв}$ – расходный коэффициент известняка для получения 1 кг извести.

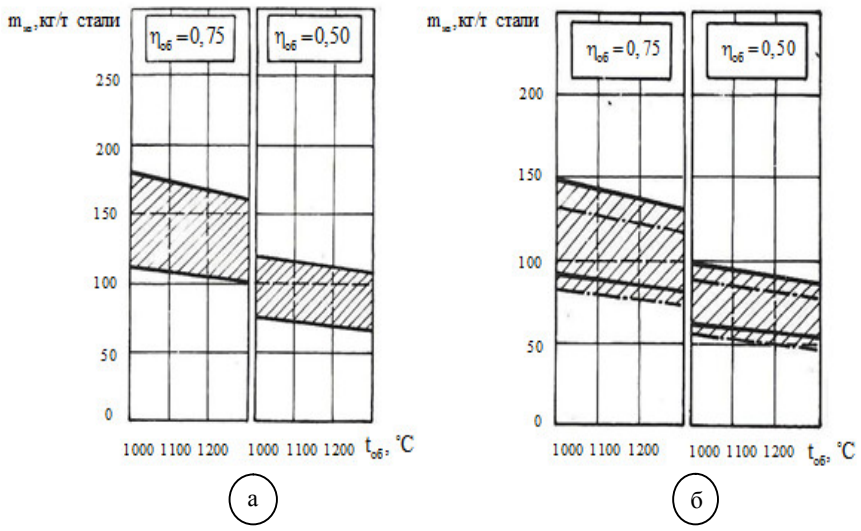


Рис. 1. Выход извести при использовании физической (а) и химической (б) теплоты конвертерного газа

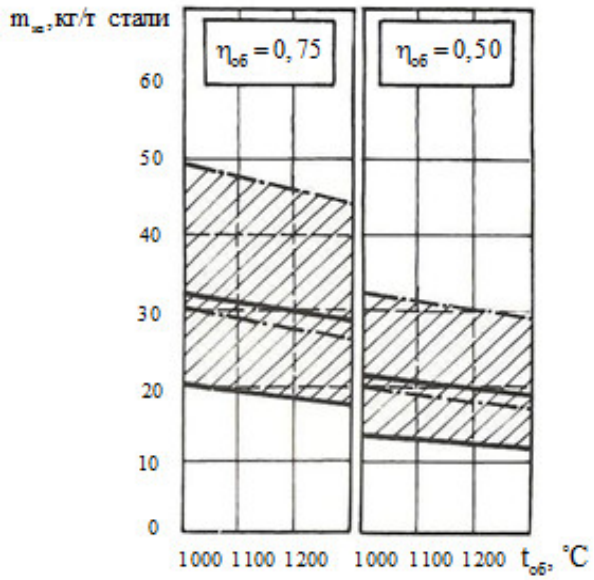


Рис. 2. Выход извести при совместном использовании физической и химической теплоты конвертерного газа

Результаты оценки продолжительности обжига, представленные на рис. 3. Время обжига $\tau_{об}$ пересчитано на количество 15–минутных продувок конвертера $\tau_{пр}$: $n = \tau_{об} / \tau_{пр}$.

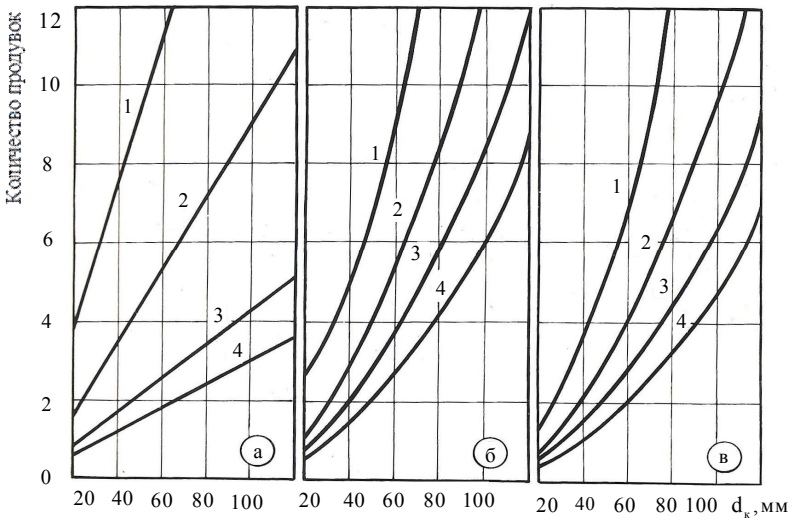


Рис. 3. Зависимость времени обжига (количества продувок) от эквивалентных диаметров кусков известняка и температуры обжига

1 – температура обжига 1000 °С; 2 – 1100 °С; 3 – 1200 °С; 4 – 1300 °С.

а – по данным работ [1]; б – по формуле, приведенной в работе [2]; в – по формуле, приведенной в [3]

Список литературы

1. Монастырев А.В. Печи для производства извести / А.В. Монастырев, А.В. Александров : Справочник. – М. : Металлургия, 1979. – 232 с.
2. Китаев Б.И. Теплообмен в доменной печи / Б.И. Китаев, Ю.Г. Ярошенко, Б.Л. Лазарев. – М.: Металлургия, 1968. – 355 с.
3. Производство извести / Н.П. Табунщиков. – М.: Химия, 1974. – 239 с.

УДК 669.184.152.4

Ю.А. Гичёв, О.В. Переверзева

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЫХОД МЕТАЛЛИЗОВАНОГО ПРОДУКТА И СТЕПЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

В задачу данной работы входила разработка основных положений технологии восстановления железорудного сырья конвертерным газом: ожидаемый выход металлизованного продукта, степень использования CO конвертерного газа и предпочтительные температуры восстановления.

По месту размещения установки для восстановления возможны два варианта, предусматривающие использование высокотемпературного газа, отбираемого за ОКГ, или охлажденного газа, отбираемого после газоочистки. Первый вариант позволяет использовать не только CO, но и физическую теплоту газа. При этом установка располагается в цехе вблизи от конвертера, что упрощает подачу в него металлизованного продукта.

Поскольку размещение установки непосредственно в цехе не всегда предоставляется возможным, предусматривается второй вариант с размещением системы вне цеха при использовании газа после газоочистки. Сложность использования охлажденного газа после газоочистки состоит в необходимости подогревать его перед подачей в реактор-восстановитель, что достигается путём частичного сжигания газа.

Выход металлизованного продукта определялся выражением:

$$m_{мет} = \frac{\upsilon_3 \cdot к_\upsilon}{\upsilon_{мет}} \left(CO'_{ср_3} - CO_р \right), \qquad (1)$$

где κ_υ - коэффициент, учитывающий увеличение объема газа после частичного сжигания (при использовании высокотемпературного газа κ_υ=1); $CO'_{ср_3}$ – среднее содержание оксида углерода в газе, отводимом на металлизацию; $CO_р$ – равновесная концентрация оксида углерода в газе для заданной температуры восстановления; $\upsilon_{мет}$ – удельный расход CO на восстановление железорудного сырья до заданной степени металлизации.

Степень использования CO определялась удельным выходом металлизованного продукта по остатку CO в газе после восстановления:

$$CO''_{ср_3} = CO_р - \frac{m_{мет} \cdot \upsilon_{FeO}}{\upsilon_3 \cdot \kappa_\upsilon}, \qquad (2)$$

где υ_{FeO} - удельный расход CO на восстановление сырья от Fe_2O_3 до FeO.

Степень использования CO определялась соотношением:

$$\eta_{CO} = \frac{CO'_{ср_3} - CO''_{ср_3}}{CO'_{ср_3}}. \qquad (3)$$

Выход металлизованного продукта и степень использования CO в зависимости от степени металлизации сырья (при температурах восстановления 700 ÷ 800°C) приведены на рисунке.

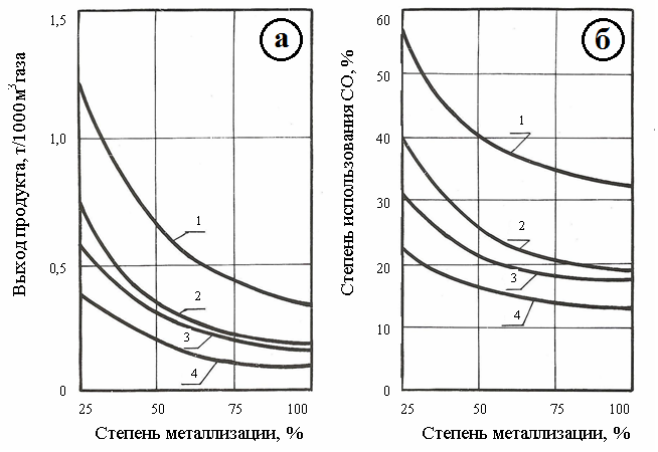


Рис. Зависимости выхода металлизованного продукта (а) и степени использования CO (б) от степени металлизации железорудного сырья

1 – при использовании высокотемпературного газа; 2, 3, 4 – при использовании охлажденного газа после частичного сжигания кислородом и воздухом, соответственно, с температурой 500°C и 20°C.

Степень использования CO (см. рис. б) в варианте с высокотемпературным газом при получении высокометаллизованного продукта составляет более 30%, что соответствует показателям прямого получения железа с применением других технологий. Для охлажденного газа степень использования CO на восстановление составляет до 20%, но с учетом расхода газа на получение высокотемпературной смеси показатель использования CO возрастает на 10-15%.

УДК 669.046:532

Ю.А. Гичёв, М.Ю. Ступак

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫГОРАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ПРОЦЕССАХ СУШКИ И РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Образование турбулентных вихрей и схема выгорания газообразного топлива при пульсационном сжигании представлены на рис. 1.

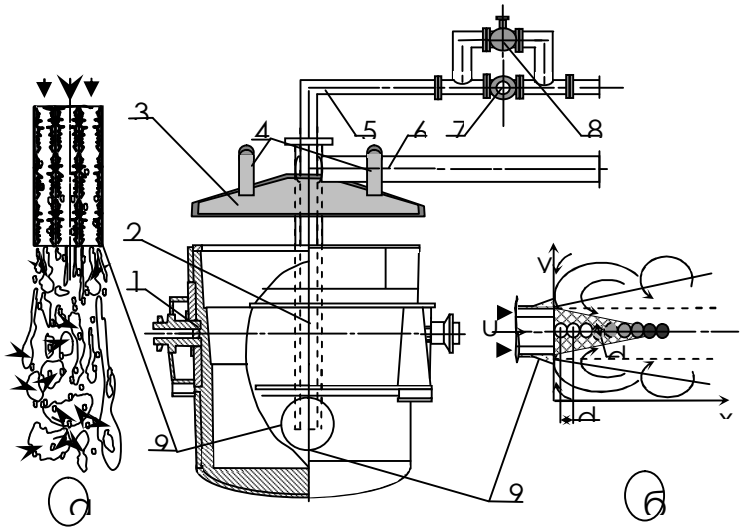


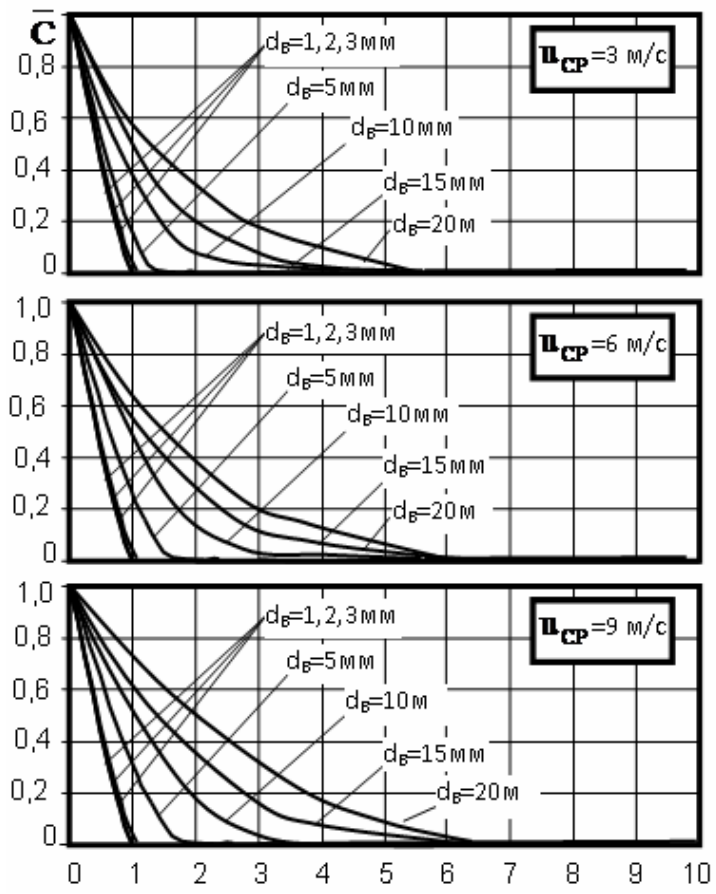
Рис. 1. Образование турбулентных вихрей (а) и схема выгорания газообразного топлива (б).
1 – ковш; 2 – горелка; 3 – крышка ковша; 4 – отвод продуктов сгорания;
5 – подвод природного газа; 6 – подвод воздуха; 7 – пульсатор с электродвигателем;
8 – байпас с клапаном; 9 – выходное сечение горелки типа труба в трубе

Интенсивность выгорания газа по длине факела, а, следовательно, и концентрация газа определялась по изменению плотности газовоздушной смеси. При этом изменение концентрации газа подчинялось уравнению $C = C_0 \cdot e^{-\chi \cdot x}$. Значение пока-

зателя степени χ, позволяющего учесть размеры вихрей, определяется из совместного решения уравнений движения и неразрывности:

$$\chi = \frac{\left(\frac{d_B}{8 \cdot u_\Phi \cdot \tau_K^2} - u_{CP} \cdot \frac{\lambda_\Gamma}{2 d_B} \cdot e^{-\frac{\lambda_\Gamma \cdot x}{2 d_B}} \right) \cdot e^{-\zeta \frac{3 \cdot \varepsilon \cdot \sigma}{2 \cdot d_B \cdot \rho_0 \cdot c_P} \cdot \tau}}{u_\Phi + \left(\frac{d_B}{8 \cdot u_\Phi \cdot \tau_K^2} \cdot x + u_{CP} \cdot e^{-\frac{\lambda_\Gamma \cdot x}{2 d_B}} \right)}$$

Результаты расчета изменения относительной концентрации горючего газа по длине факела, представленные на рис. 2, позволяют отметить следующее.



Длина факела (количество калибров горелки)

Рис. 2. Изменение относительной концентрации горючего газа по длине факела

Для горелок, применяемых на стендах сушки и разогрева сталеразливочных ковшей с учетом шероховатости труб горелок, диаметры образующихся вихрей ($d_в$) в потоках «газ-воздух» составляют до 5 мм. Это указывает на то, что при пульсационном горении по данным расчета полное выгорание газа происходит на расстоянии двух калибров от среза горелки, т.е. уже в нижней части ковша, исключая этим недожог топлива.

УДК 669.046:532

Ю.А. Гичёв, М.Ю. Ступак

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГАЗОВОГО ПОТОКА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ И РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

При прохождении по трубопроводу от пульсационного блока до горелки импульс пульсации претерпевает изменения. Происходит диссипация (рассеивание) пульсации газового потока. Выяснить эти изменения и учесть их в опытно-промышленных исследованиях при сушке и разогреве сталеразливочных ковшей является целью данной работы.

Экспериментальная установка для исследования диссипации пульсирующего газового потока, представлена на рис. 1.

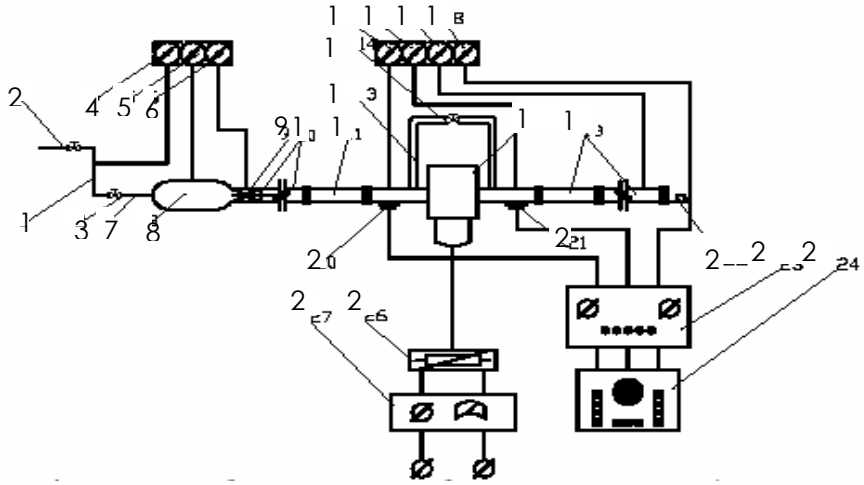


Рис. 1 - Экспериментальная установка для исследования диссипации пульсирующего газового потока

1 – подводящий воздухопровод; 2 – запорная задвижка; 3 – регулирующая задвижка; 4 – манометр для измерения располагаемого давления; 5 – манометр для измерения давления в форкамере; 6 – вакуумметр; 7 – входной патрубок; 8 – форкамера; 9 – измерительная трубка Вентури; 10 – соединительные патрубки;11 – входной отсек; 12 – пульсатор золотникового типа; 13 – байпас; 14 – запорно-регулирующий клапан; 15 – 18 – батарейные манометры; 19 – исследуемый участок трубопровода; 20 – 21 – датчики пульсаций; 22 – фотокамера; 23 – преобразователь; 24 – осциллограф С8-14; 26 – регулятор напряжения; 27 – преобразователь электропитания

Результаты обработки экспериментальных данных в виде относительных изменений интенсивности звука представлены на рис. 2.

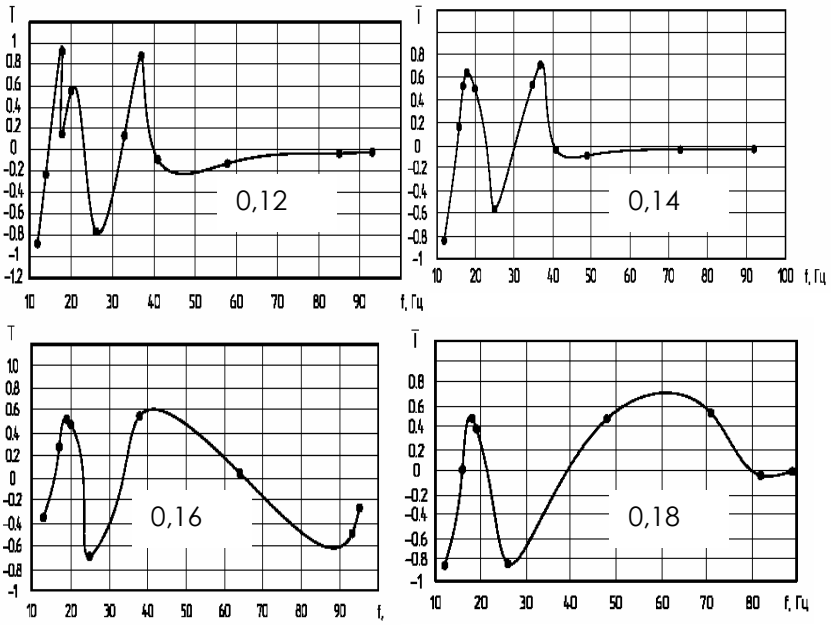


Рис. 2 - Зависимость относительного изменения интенсивности звука ($\overline{I}$) от частоты пульсаций (с диафрагмой d = 40 мм)

Исследование проводилось при давлении воздушного потока в пределах 0,12 ÷ 0,18 МПа с шагом 0,02 МПа и варьировании частоты пульсаций в диапазоне 10 ÷ 100 Гц.

Дутьевая насадка (горелка) стенда моделировалась диафрагмой с диаметром отверстия 40 мм, установленной на выходном торце исследуемого участка трубы. Для сравнения исследование выполнено также без установки диафрагмы.

Обобщение результатов экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы.

а) В целом все пульсации носят затухающий характер, то есть диссипация проявляется при всех давлениях воздушного потока и на всех исследованных частотах пульсаций с моделированием и без моделирования горелки.

б) Влияние диссипации наиболее ощутимо при давлениях 0,12 и 0,14 МПа во всем диапазоне исследованных частот (10 ÷ 100 Гц).

в) При давлениях 0,16 МПа и 0,18 МПа приемлемые частоты пульсаций с точки зрения минимальной диссипации и отсутствия вибрации оборудования возможны при частотах в диапазоне 40 ÷ 80 Гц.

УДК 669.184.152.4

Ю.А. Гичёв

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

КОЛИЧЕСТВО НАГРЕВАЕМОГО МЕТАЛЛОЛОМА И ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА

Температура и масса нагретого лома при подаче лома в конвертер должны быть согласованы с тепловым балансом конвертерной плавки.

Совместное решение уравнений тепловых балансов подогревателя лома и конвертерной плавки дает выражение для определения температуры лома:

$$t_л = \frac{q_л}{C_л}\left[1 - \frac{Q_{изб}}{Q_{изб} + (Q_{кгф} + Q_{кгх})\eta_н}\right], \quad (1)$$

где $q_л$, $C_л$ – охлаждающий эффект лома и теплоемкость лома; $Q_{изб}$ – избыточная теплота конвертерного процесса; $Q_{кгф}$, $Q_{кгх}$ – физическая и химическая теплота конвертерного газа; $\eta_н$ – к.п.д. нагрева.

Увеличение доли лома $\Delta m_л$ в металлошихте за счет возврата теплоты газа в конвертер определяется выражением:

$$\Delta m_л = \left\{q_л / \left[Q_{изб} + (Q_{кгф} + Q_{кгх})\eta_н\right] + 0{,}01\right\}^{-1} - \left[q_л / \left(Q_{изб} + 0{,}01\right)\right]^{-1}. \quad (2)$$

Избыточная теплота конвертерного процесса вычислялась при следующих исходных данных: температура заливаемого в конвертер чугуна – 1350°С; состав чугуна – углерод 4%, кремний 0,8%, марганец 0,5%; температура выпуска стали – 1600 °С; состав выплавляемой стали – углерод 0,25%, кремний 0,25%, марганец 0,30%.

Графики, приведенные на рис. 1 и 2, позволяют представить температуру нагрева лома и соответствующее увеличение доли лома в металлошихте кислородно-конвертерной плавки.

В целом же из приведенных результатов расчета следует, что нагрев металлолома конвертерным газом позволяет увеличить долю лома в металлошихте, которая без подогрева составляет максимум 25 ÷ 30%, на 7,3–18,5% и обеспечить этим расход лома в конвертерной плавке до 32,3 – 48,5% от массы металлошихты.

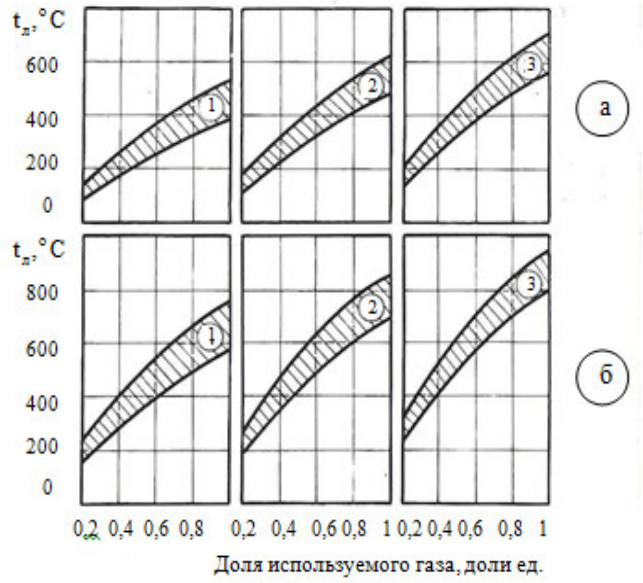


Рис. 1 – Зависимость температуры нагрева лома ($t_л$) от доли используемого газа (верхние линии при температуре отводимого на использование газа 1600 °С, нижние – 50 °С, после газоочистки)

а – при тепловом к.п.д. нагрева (степени использования теплоты газа) 0,3;

б – 0,5; 1 – при степени дожигания газа 0,6; 2 – 0,8; 3 – 1.

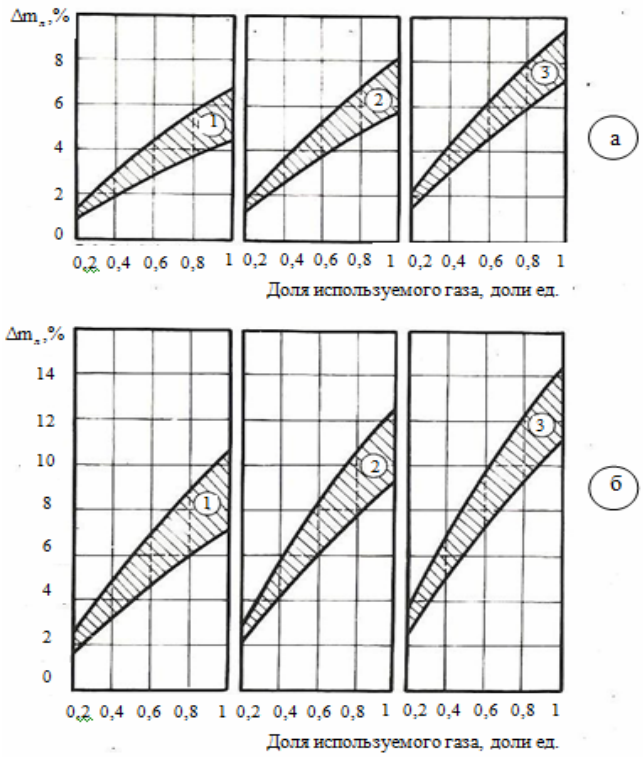


Рис. 2 – Зависимость увеличения доли лома ($\Delta m_л$) в металлошихте кислородно-конвертерной плавки от доли используемого газа (верхние линии при температуре отводимого на использование газа 1600°С, нижние – 50°С)

а – при тепловом к.п.д. нагрева (степени использования теплоты газа) 0,3;

б – 0,5; 1 – при степени дожигания газа 0,6; 2 – 0,8; 3 – 1.

УДК 621.74.047: 620.191.355

А.В. Головчанский

Донбасский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СКЛАДОК НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА

Возвратно-поступательное движение кристаллизатора в процессе непрерывной разливки обеспечивает предупреждение прилипания твердой корочки к его стенкам. При этомпроисходит определенная совокупность физико-механических процессов, в результате чего на поверхности непрерывнолитой заготовки формируются волнообразные складки, которые чаще называют следами качания [1]. Следы качания во многом определяюткачество отлитых заготовок и конечной продукции, поскольку они являются причиной возникновения поперечных трещин, которые требуют механической зачистки и отбраковки.

Соответственно сокращение количества горизонтальных трещин и повышение качества поверхности заготовки является актуальной практической задачей.Для ее решения необходимо расширение представлений непосредственно о механизме формирования следов качания. При этом геометрическая форма следов качания и характер их проникновения вглубь тела заготовки во многом определяют также явление захвата металлом шлаковых включений и пузырьков аргона.

Среди существующих теорий, описывающих или объясняющих механизмы формирования следов качания, наиболее вероятным, на наш взгляд, является механизм, основанный на затвердевании твердой корочки непосредственно на мениске и переливе через нее порции жидкого металла при поднятии уровня вверх [2].

При физическом моделировании процессов формирования твердой корочки в кристаллизаторе МНЛЗ решались следующие задачи: определение наиболее характерных стадий процесса образования твердой корочки в кристаллизаторе; количественная оценка параметров продвижения фронта затвердевания; исследование влияния параметров охлаждения на трещинообразование в твердой корочке.

В качестве моделирующего вещества использовали камфен (2,2-диметил-3-метилен-бициклогептан), который, также как и сталь, является дендритокристаллизующимсяматериалом[3]. Это позволило моделировать процессы и явления, происходящие в двухфазной зоне. Исследования формирования следов качания проводили на лабораторной установке, одна стенка которой была выполнена охлаждаемой.

В результате экспериментов на физической модели показано, что формирующаяся вблизи стенки кристаллизатора твердая корочка состоит преимущественно из мелких равноосных кристаллов, что объясняется повышенной интенсивностью отвода тепла в этой зоне. По мере удаления от охлаждающей поверхности уровень теплоотвода снижается, и начинают преобладать столбчатые кристаллы, оси первого порядка которых располагаются перпендикулярно к фронту кристаллизации под небольшим углом к горизонтальной плоскости.

В работе установлено, что корочка со следами качания имеет прочность на 14-30 % меньше, чем ее образцы без следов качания. Полученные данные подтверждают значимость следов качания, образующихся при формировании твердого каркаса в кристаллизаторе и их влияния на его прочность. При этом большоеуменьшение толщины корочки в основании следа качания может служить причиной образования поперечной трещины или прорыва.

Список литературы

1.Takeuchi E. The Formation of Oscillation Marks in the Continuous Casting of Steel Slabs / E. Takeuchi, J.K. Brimacombe // Metallurgical Transaction D. – 1984. – Vol.15B. No9. – P. 493-509.

2.Sengupta J. A New Mechanism of Hook Formation during Continuous Casting of Ultra-low Carbon Steel Slabs / J. Sengupta, B.J. Thomas, H.J. Shin et al. // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2006. – Vol.37A. No.5. – P.1597-1611.

3.Смирнов А.Н. Физическое моделирование условий формирования непрерывнолитой сортовой заготовки в кристаллизаторе высокопроизводительной МНЛЗ / А.Н. Смирнов, В.Е. Ухин, Е.Ю. Жибоедов // Процессы литья. – 2009. − №1. − С.33-42.

УДК: 669.094.1:52-337

А.М. Гришин, В.К. Симонов, И.С. Щеглова

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗВИТИЕ ДИФФУЗИОННО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГАЗОВОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

Поиск новых возможностей низкотемпературного извлечение железа из рудных материалов относится к числу важнейших задач в области развития энергосберегающих технологий. Для достижения указанной цели были использованы электромагнитные воздействия низких частот (f≤50 Гц) в ходе газового восстановления оксидов железа.

Экспериментально исследовано взаимодействие металлического железа с оксидами Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , условия организации экспериментов детально описаны ранее [1]. Результаты исследований в системах Fe_2O_3/Fe и Fe_3O_4/Fe при 973К показали, что использование переменного ЭМП ведет к увеличению степени восстановления оксидов на 4-5% (при прочих одинаковых условиях – время выдержки, температура, состав шихты). Исследование микроструктуры системы Fe_2O_3/Fe после изотермической выдержки при 973К свидетельствует о том, что в отсутствие внешних воздействий образуется одна новая фаза - магнетит. При наложении на реагирующую систему переменного ЭМП образуется два твердых продукта - магнетит и вюстит, что объясняется увеличением подвижности ионов кристаллических фаз и возрастанием диффузионного потока ионов железа в направлении Fe_2O_3.

В системе Fe_3O_4/Fe, независимо от условий организации процесса, продуктом реакционной диффузии является только вюстит. Однако под воздействием переменного ЭМП глубина проникновения реакционного фронта в магнетит существенно возрастает [1].

Экспериментально изучено влияние параметров ЭМП – частоты (f) и напряженности его (Н), на кинетику восстановления оксидов железа.

Зависимость линейной магнитострикции железа λ от напряженности магнитного поля носит экстремальный характер и по данным [2] максимальное значение λ наблюдается при Н=24 кА/м. Это значение практически совпадает с экспериментально установленной оптимальной величиной Н в ходе восстановления железорудных материалов, что позволяет отвести ведущую роль в механизме интенсификации реакции восстановления оксидов железа магнитострикционным колебаниям.

Исследовано влияние переменного ЭМП на кинетику низкотемпературной металлизации магнетитового концентрата водородом в псевдоожиженном слое. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица. Влияние ЭМП на степень металлизации магнетитового концентрата (%) при Н = 32 кА/м

Реактор	Т, К	Время восстановления, мин.	Условия восстановления		
			Вне поля	f = 50Гц	f = 0,5Гц
Цилиндрический	873	40	42,2	42,6	47,5
	973	40	44,2	45,2	53,0
Конический	873	40	46,4	50,0	72,2
	873	40	52,5	-	~100
	973	40	49,1	51,3	55,2

Экспериментально доказана возможность низкотемпературной металлизации тонкодисперсных железорудных материалов в псевдоожиженном состоянии потоком водорода. Оптимальным условиям организации процесса отвечает температура Т≈873К при наложении низкочастотных электромагнитных воздействий на реагирующую систему с f ≈ 0,5Гц. Полностью металлизованный продукт может быть использован в металлургии в виде железного порошка либо прессованных брикетов.

Список литературы

1. *Симонов В.К., Гришин А.М.* Влияние низкочастотных электромагнитных воздействий на кинетику восстановления оксидов железа газами и развитие диффузионных процессов // Электрометаллургия. – 2012. – №7, – С.11-16.
2. *Бозорт Р.М.* Ферромагнетизм. – Пер.с англ.– М.: ИЛ,1956. – 784 с.

УДК 669.162.252.46

В.И. Дуда, Г.А. Бялик, В.И. Гонтаренко

Запорожский национальный технический университет

ПРИБОР ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ПЫЛИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОСАЖДЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Во всех металлургических переделах образуется значительное количество пылевидных отходов, которые необходимо улавливать и утилизировать с целью извлечения содержащихся в них металлов и поддержания необходимого уровня охраны окружающей среды.

Главными источниками образования указанных отходов в черной металлургии являются основные технологические агрегаты металлургического производства:

а) агломерационные машины;

б) доменные и сталеплавильные печи.

Пылевидные отходы металлургического производства содержат большое количество железной составляющей. Это ценное сырье, которое может быть возвращено обратно в производство. Общее содержание Fe, в осаждаемой и поступающей на переработку пыли, не однородно по своему составу и колеблется в широких пределах от 30 до 70%[1]. Параметры контроля и управления технологическим процессом утилизации напрямую зависят от качественного состава исходного материала. К основным показателям, которые необходимо контролировать в процессе подготовки сырья, для его рационального использования (концентрация полезного компонента, в данном случае Fe) [2].

До настоящего времени наиболее распространенными методами контроля концентрации полезного компонента в железо содержащих отходах (ЖСО), являются методы химического анализа, которые принято считать “’эталонными методами”.

«Мокрый» химический метод основан на исследовании протекания химических реакций и изучении продуктов, получившихся в их результате и дают возможность непосредственно оценить массу веществ, вступивших в реакцию. Однако этот метод как и другие являются длительным и трудоемким.

Для контроля содержания полезных компонентов, в последние годы, наряду с рентгеноспектральным и рентгенорадиометрическим методами анализа широкое применение находят методы, использующие постоянные и переменные электрические и магнитные поля

Оптимальными с этой точки зрения являются магнитные методы, обеспечивающие минимальное время на определение концентрации полезного компонента в исследуемом материале. Однако, известные методы остаются относительно дорогостоящими, трудоемкими и длительными по времени проведения анализа. Поэтому требуются специальные устройства для “экспресс-анализа” концентрации полезного компонента в сырье.

Для решения этой задачи в ЗНТУ был разработан прибор для автоматического определения содержания железа в ЖСО.

Прибор представляет собой автоматическое устройство, содержащее источник постоянного магнитного поля (магнит из сплава Fe –Nb – B) и электронные весы с индикатором.

Простота конструкции, универсальность, точность и надежность данной установки позволяет получать данные за короткое время и практически в любых условиях, в отличии от химического метода, который проводится с лабораторных условиях.

Актуальность проблемы рециклинга промышленных отходов на сегодняшний день это не только экономическая целесообразность но и экологическая необходимость.

Список литературы

1. *Сирябина Л.Я.* Атлас промышленных пылей (НИИОгаз) / Л.Я. Сирябина серия ХМ-14. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ,1980. – 134с.
2. *Кокорин В.Н.* Промышленный рециклинг техногенных отходов: учеб. пособие / В.Н. Кокорин, А.А. Григорьев, М.В. Кокорин, О.В Чемаева. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 42 с.

УДК 669.187.526

С.В. Жук, Є.К. Бондаренко, О.О. Капусняк

Національний технічний університет України “КПІ”, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ ЖАРОСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Сучасні жароміцні матеріали практично вичерпали свої можливості по жаростійкості. Підвищення робочих температур можливе за наявності досконалих систем охолоджування, а також за рахунок застосування жаростійких та корозійностійких покриттів. Створення жаростійких та корозійностійких покриттів – кардинальне і економічно виправдане вирішення проблеми поєднання високої конструктивної міцності матеріалів із здатністю протистояти хімічному руйнуванню при високих температурах.

Для одержання жаростійких покриттів методом електронно-променевого випаровування використовують виливки сплавів на основі нікелю, кобальту заліза та їхніх сумішей. Суть технології швидкісного випаровування полягає в тому, що для підвищення швидкості випаровування необхідно збільшити температуру ванни розплавленого металу. Швидкість випару залежить від вмісту тугоплавких компонентів у ванні, проте, при фіксованій потужності променя спостерігається зниження швидкості випаровування. Збільшення кількості тугоплавких металів у ванні призводить до зниження швидкості випару, що пов’язане із зменшенням концентрації основного металу у ванні, і зростання температури ванни не компенсує зниження концентрації випарюваного металу.

Збільшення кількості тугоплавких металів у ванні приводить до утворення твердо-рідкої проміжної зони, яка є замком, через який утруднена дифузія легколетких компонентів сплаву. Таким чином, кількість випаровуваного матеріалу зменшується, а температура поверхні ванни зростає, а на поверхні твердо рідкої зони формується рідка сферо подібна ванна, яка майже на 95 % складається з тугоплавких компонентів і має температуру значно більшу, ніж температура твердо рідкої зони.

Список літератури

1. *Патон Б.Е.* Электронно-лучевая плавка / *Б.Е. Патон, Н.П. Тригуб.* – К.: Наукова думка. – 1997. – 265с.

УДК 669 (075.8)

С.В. Жук, К.П. Грабівський, А.І. Стецик

Національний технічний університет України “КПІ”, Київ

СИСТЕМА ЗАМКНЕНОГО КЕРУВАННЯ КИСНЕВИМ КОНВЕРТЕРОМ

Автоматизація конвертерного виробництва сталі дозволяє ефективніше керувати плавкою, а також підвищити якість сталі, яка виплавляється. Створення замкненої системи керування конвертерним процесом дозволяє виключити людський фактор з системи прийняття рішень, тим самим дозволяє до мінімуму скоротити можливість аварійної ситуації, і до максимуму підвищити якість та ефективність керування. Людина не здатна оперативно контролювати і аналізувати протікання технологічного процесу у всьому його різноманітті. Проте і система не може функціонувати безконтрольно. Тому роль людини в таких умовах зводиться до пасивного спостереження з можливістю втручання в перебіг протікання процесу при необхідності.

При розробці структури системи, яка реалізує вищезгаданий принцип були враховані наступні моменти:

- технологічна і організаційна структура управління об’єктом;
- територіальне розміщення технологічного обладнання, приміщень для розташування технічних засобів системи і постів управління;
- інформаційна потужність структурних одиниць об’єкту;
- вимоги до технічних характеристик системи та її надійність;
- ієрархію керування конвертерним процесом в залежності від побудованої системи;
- перспективи розвитку і модернізації системи.

Система замкненого керування реалізована на базі засобів обчислювальної техніки, а також інтерфейсних ліній зв’язку для передачі даних, що забезпечують розподілену обробку інформації і оперативне управління роботою конвертера.

В основі концепції створення замкненої системи покладена функціональна, структурна та інформаційна інтеграція. Функціональна інтеграція означає, що одні і ті ж продукти і концепції використовуються в одноподібній формі для реалізації всіх видів управління, включаючи логічне і регулююче управління. Структурна інтеграція передбачає входження всіх моделей в інтегровану АСУ ТП конвертерної плавки. Інформаційна інтеграція розглядає систему автоматизації як частину загального обчи-

слювального середовища на підприємстві, що робить інформацію одночасно доступною і розподіленою між різними користувачами.

Система передбачає функціонування в режимі безперервної дії з регламентованою періодичністю операцій технічного обслуговування і ремонту.

Критерієм працездатності замкненої системи є забезпечення вирішення основних функціональних задача незалежно від працездатності окремих елементів. За відмову функції при розрахунках є миттєва відмова будь – якого елементу комплексу технічних засобів, які утворюють інформаційну чи управляючу ланку.

Технічне забезпечення замкненої моделі реалізує всі функції передбачені технологічним процесом. Виходячи з цього розроблена комплексна структурна схема технічних засобів. На нижньому рівні застосовуються датчики, програмні логічні контролери, модулі введення/виведенні,модулі зв'язку. В структурі верхнього рівні передбачені такі структурні одиниці: сервер, робоча станція конвертера, робоча станція площадки.

Економічний ефект системи управління конвертерною плавкою досягається за рахунок випуску плавок по заданим маркам сталі, підвищення виходу придатного, покращення якості продукції, економії матеріалів, часу продувки, а також ефективності управління в результаті покращення інформаційного забезпечення АСУ ТП.

Список літератури

2. *Богушевський В.С.* Автоматизована система керування конвертерною плавкою / *В.С. Богушевський, К.О. Сергеєва, С.В. Жук* // Вісник НТУУ «КПІ». – 2011. – №61 Т2. – С. 147-151 [Серія машинобудування]
3. *Богушевський В.С.* Технічні засоби замкненої моделі управління кисневоконвертерним процесом / *В.С. Богушевський, С.В. Жук, К.О. Зубова* // Матеріали конференції з автоматичного управління «Автоматика - 2012». Київ 26-28.09.2012. – К.: НУХТ, 2012. – С.156.

УДК 669.18

С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов, В.С. Мамешин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ШЛАКА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ

Качество металла во многом зависит от содержания вредных примесей и неметаллических включений. Существенное влияние на показатели качества оказывает сера. В современной металлургии операции рафинирования металла перенесены в агрегат ковш-печь (АКП). Поэтому актуальными являются вопросы, связанные с изучением влияния технологических факторов обработки металла в АКП на показатели десульфурации.

Для определения степени влияния основных факторов на показатели процесса десульфурации в ходе работы были получены математические модели множественной линейной регрессии с использованием инструментов пакета анализа в Microsoft Excel. В качестве показателя процесса удаления серы использовали фактический коэффициент распределения серы между металлом и шлаком: $L_S^{Ф}$ = (S)/[S]. Массивы данных для 60-т и 250-т АКП разбивали на интервалы по коэффициенту распределения серы и рассчитывали средние значения $L_S^{Ф}$ и параметров шлака. По найденным данным получены статистические модели совместного влияния состава шлака и температуры (1,2):

60-т ковш: $L_S^{Ф}$ = – 3,192(SiO_2) + 10,646(CaO) + 13,265(MgO) – 2,211(Al_2O_3) – – 0,253(FeO) – 20,491(MnO) – 0,198 Т – 463,49; R^2 = 0,280 (1)

250-т ковш: $L_S^{Ф}$ = – 6,816(SiO2) + 6,223(CaO) + 0,119(MgO) – 3,878(Al2O3) – – 8,753(FeO) – 5,912(MnO) – 0,415 Т + 650,385; R2 = 0,484. (2)

Анализируя уравнения множественной корреляции (1,2) с помощью описательной статистики определили, что значимость коэффициентов корреляции располагается в следующей последовательности:

- для условий обработки на АКП ёмкостью 60 т: (CaO), (SiO_2), (MgO), (FeO), (MnO), (Al_2O_3), температура.

- для условий обработки на АКП ёмкостью 250 т: (SiO_2), (CaO), (FeO), (MnO), (Al_2O_3), (MgO), температура.

Дана оценка достоверности статистических моделей путем сравнения величины коэффициента распределения серы, полученным по уравнениям (1,2) с практи-

ческими данными. Для оценки достоверности брали средние значения по массиву состава шлака и температуры для АКП с различной ёмкостью ковшей – 60-т и 250-т.

Таблица. Проверка достоверности статистических моделей совместного влияния состава шлака и температуры на коэффициент распределения серы

Параметры шлака и температура		L_S^{Φ}	L_S^{Φ} пр
G = 60 т	58,4(CaO), 23,14(SiO_2), 9,91(MgO), 4,77(Al_2O_3), 0,65(FeO), 0,34(MnO), %	63,14	63,29
	B = 2,95		
	T = 1605 ºC		
G = 250 т	49,35(CaO), 28,34(SiO_2), 11,97(MgO), 4,07(Al_2O_3), 2,19(FeO), 1,03(MnO), %	64,12	64,06
	B = 2,16		
	T = 1585 ºC		

По результатам анализа (см. табл. выше) получена хорошая сходимость теоретических и производственных данных. Это свидетельствует о том, что полученные математические зависимости могут использоваться для анализа процесса десульфурации в АКП с различной емкостью сталеразливочных ковшей.

Список литературы

1. *Лунев В.В.* Сера и фосфор в стали [Текст] / *В.В. Лунев, В.В. Аверин*. – М. : Металлургия, 1988. – 256 с.
2. *Аверин В.В.* Направления исследований в металлургии [Текст] / *В.В. Аверин, Г.А. Лопухов* // Теория металлургических процессов. Итоги науки и техники. Т. 4. – М.: ВИНИТИ. – 1978. – № 10. – 98 с.
3. *Бужак Ю.В.* Десульфурация металла в условиях обработки на агрегате ковш-печь (АКП) [Текст] / *Ю.В. Бужак, С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов* // Металлургия XXI столетия глазами молодых / Материалы Всеукраинской научно-практической конференции студентов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 16 – 17.
4. *Поволоцкий Д.Я.* Внепечная обработка стали [Текст] / *Д.Я. Поволоцкий, В.А. Кудрин, А.Ф. Вишкарев*. – М: «МИСИС», 1995. – 256 с.
5. *Дюдкин Д.А.* Современная технология производства стали [Текст] / *Д.А. Дюдкин, В.В. Кисленко.* – М.: «Теплотехник», 2007. – 528 с.

УДК 621.74.047

И.К. Иващенко

Донбасский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ, СНАБЖЕННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЕМ

Постоянный рост потребления непрерывнолитых заготовок и требований, предъявляемых к их качеству, обуславливают поиск новых, более эффективных технологий. Одной из основных проблем непрерывной разливки является необходимость дальнейшего повышения качества и уменьшения количества дефектов поверхности и внутренней структуры заготовки. На служебные свойства стальных изделий существенное влияние оказывают даже малые концентрации вредных примесей, а также количество, размеры и характер расположения неметаллической фазы[1].

С целью обеспечениячистоты металла по неметаллическим включениям все более широкое распространение получают электромагнитные устройства. В зависимости от того, каким образом обеспечивается существование в жидком металле электрического тока и магнитного поля, электромагнитные устройства делятся на индукционные и кондукционные, отличающиеся конструктивным исполнением [2].

На наш взгляд, наиболее целесообразным является использование кондукционного электромагнитного перемешивателя[3], в котором внешнее магнитное поле взаимодействует с током, введенным в металл от внешнего источника через контактные элементы.При этом появляется возможность отдельного регулирования тока, поступающего на обмотку электромагнита и на электродную систему. Это в свою очередь позволяет изменять в широких пределах скорость потоков металла и подогрев дугами для усреднения стали по химическому составу и температуре, а также её рафинировочную обработку шлаками, ассимилирующими выносимые неметаллические включения, образуемыми потоками, из объема металла к поверхности раздела металл-шлак.

При физическом моделировании движения потока расплава в промковше с ЭМП исследовалось воздействие скрещенных магнитного и электрического полей, а также их величина на скорость перемешиваниярасплава.Исследования проводились на физической модели промежуточного ковша с кондукционным ЭМП. Для изучения движения потоков жидкости в моделях использовали легкоплавкий сплав Вуда (СВ) (Sn=12,5%; Pb=25%; Bi=50%; Cd=12,5%) и электропроводный водный раствор (ЭР) (H_2O+NaCl).При проведении опытов величина магнитной индукции составляла

B=0,21Тл, а ток подаваемый на ванну ЭМП изменялся в пределах от 3 до 40А (для СВ от 15А до 40А, для ЭР от 3А до 10А).

В ходе исследований были получены скорости потока ЭР при различной величине силы тока (таблица 1). Было установлено, что величина силы тока прямо пропорционально воздействует на скорость потока.

Таблица 1 – Скорость потока ЭР при различной величине силы тока

Величина силы тока, I, А	Скорость движения потока, v, м/с
2	0,0073
5	0,011
8	0,026
10	0,031

Результаты экспериментов показали, чтоприменение электромагнитного перемешивателяпозволяетуправлятьпотоками расплава в промковше. Учитывая то что, переход неметаллических включений из металла в шлак пропорционален площади и времени контакта фаз, которое увеличивается в 2-3 разапри применении ЭМП, то создаются благоприятные условия для их удаления.

Список литературы

1. *Куберский С. В.* Гидравлический расчет промежуточного ковша МНЛЗ,оборудованного электромагнитным перемешивателем / С.В. Куберский // Сбор.научн. трудов. – Алчевск: ДонГТУ, 2013. – Вып. №40. – С. 87-95.

2. *Куберский С.В.*Кондукционныйэлектромагнитныйперемешиватель для стальной ванны / С.В. Куберский, С.Б. Эссельбах // Черные металлы. – Август 2012. – С. 17-22.

3.Патент на корисну модель Україна МПК B22D11/10. Проміжний ківш машини безперервного (напівбезперервного) лиття заготовок / О.М. Смірнов, С.Б. Ессельбах, С.В. Куберський, М.Ю. Проценко, І.В. Шутов, В.Є. Ухін, В.А. Головатий заявник і власник Донбас. державн. техн. ун-т. – № 71324, (№u 2011 15435), заявл. 27.12.2011, опубл. 10.07.12. Бюл. № 13.

УДК 669.187.56.002

Казарин Д.А., Волкотруб Н.П., Прилуцкий М.И.

Национальный Технический Университет Украины

«Киевский Политехнический Институт», Киев

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОССТАНОВИТЕЛЯ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ШИХТЫ ПРИ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОТИТАНА

Ферротитан – сплав (основные компоненты титан и железо), который применяется для легирования и дегазации сталей [1].

Неуклонно возрастает спрос на ферротитан при производстве конструкционных легированных и низколегированных сталей. Повышение спроса на ферротитан в последнее время связано также с существенным снижением цен на него (от 16-20 $/кг в 2007 году – до 6-8$/кг в 2014 году) [2] Неизменно ферротитан широко используется при выплавке сталей для газопроводных труб большого диаметра: марки 09Г2ФБ, 13Г1СБ-У, 12Г2ФБ и т.д.

Высокопроцентный ферротитан нашел применение при производстве композиционных материалов [3].

Ферротитан производят следующими способами [1, 4]:

1) алюминотермический метод – восстановление титана из его окислов алюминием;

2) переплав нелегированных отходов титана со стальным скрапом в защитной атмосфере в индукционных печах.

В данной работе авторы хотели обратить внимание на влияние количества восстановителя на скорость горения шихты при алюминотермической выплавке ферротитана.

Для решения поставленных задач, в лабораторных условиях НТУУ «КПИ» были проведены плавки, результаты которых представлены в таблице.

В экспериментах использовалась шихта следующего состава: ильменитовый концентрат $FeO \cdot TiO_2$ (ВГОК), с содержанием TiO_2 не менее 63,3 мас. % и крупка алюминиевая (активный алюминий не менее 90 %), крупностью 300-400 мкм.

Плавки проводили в алундовых тиглях, одинаковой высоты и диаметра. Нагрев смеси до температуры 550 ^{0}С производился в селитовой печитипа ШП-1, мощностью 4 кВт.

Таблица

Влияние навески алюминия на время и скорость горения шихты

№ плавки	Вес шихты, г	Навеска алюминия, г	Избыток алюминия, % от теоретического	Время горения, τ, сек	Скорость горения, υ_h, мм/сек
1	141	41	0	7,97	7,52
2	149	49	20	7,40	8,11
3	161	61	50	10,46	5,74
4	182	82	100	11,05	5,43
5	200	100	145	11,42	5,25

Поджог шихты осуществляли при помощи запальной смеси, состоящей из железной руды и алюминиевого порошка.

Методика измерения линейной скорости горения заключалась в том, что фиксировалось время от момента поджога смеси до момента резкого скачка показаний термопары, установленной на дне тигля. Хромель-алюмелевая термопара устанавливалась открытым спаем.

Скорость горения рассчитывали по формуле:

$$\upsilon_h = h/\tau,$$

где h – высота столба шихты, мм; τ – время горения состава, сек.

Графически влияние количества восстановителя на скорость горения шихты для алюминотермической выплавки ферротитана изображено на рисунке.



Рисунок. Влияние количества восстановителя на скорость горения шихты $FeO{\cdot}TiO_2$ – Al

Анализ графика позволяет сделать следующие выводы:

1) максимальная скорость горения достигается при избытке восстановителя 20 % от теоретического;
2) при дальнейшем увеличении количества алюминия, наблюдается снижение скорости горения смеси и горение приобретает более спокойный характер.

Список литературы

1. *Гасик М.И., Лякишев Н.П.* Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005 г. – 448 с.
2. Электронный ресурс // режим доступа: http://www.metaltorg.ru/
3. *Казарин Д.А., Волкотруб Н.П., Прилуцкий М.И.* Новые электропроводящие добавки для полимерных композиционных материалов // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної WEB-конференції «Композиційні матеріали» (травень 2013), С. 87-89.
4. *Электрометаллургия стали и ферросплавов*. Поволоцкий Д.Я., Рощин В.Е., Рысс М.А., Строганов А.И., Ярцев М.А. – Учебник для вузов. Изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: Металлургия, 1984. – 568 с.

УДК 504:621.7.04

А.Р. Катеренюк, О.В. Матухно

Національна металургійна академія України

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПИЛОГАЗОВИХ ВИКИДІВ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Боротьба з забрудненням повітряного басейну виробничими викидами – одна з найактуальніших проблем сучасності. У загальних викидах в атмосферу на ливарне виробництво приходиться 3% пилу і 0,5% чадного газу [1]. Концентрація шкідливих речовин у повітрі всіх основних відділень ливарного цеху може досягти величин, що значно перевищують гранично припустимі норми, якщо не будуть прийняті заходи для видалення і знешкодження цих речовин. Тому очищенню і знешкодженню пилогазових викидів ливарного виробництва в даний час приділяється серйозна увага у багатьох розвинених у промисловому відношенні країнах [2].

Найбільші забруднювачі, що утворюються в ливарних цехах - пил різної хімічної природи й оксиди вуглецю, азоту, сірки (IV), вуглеводні. Вплив вказаних забруднювачів на людину та довкілля наведено у таблиці.

Донедавна питанням захисту навколишнього середовища приділялася недостатня увага, що стримувало застосування ефективних засобів очищення і знешкодження викидів.

Як правило, ливарні цехи обладнані лише циклонами для уловлювання крупнодисперсного пилу або апаратами мокрого очищення вентиляційних викидів. При

цьому слід зазначити недостатні потужності систем вентиляції більшості цехів [3]. В зв'язку з чим питання аналізу шляхів зниження негативного впливу викидів ливарних цехів на довкілля потребує подальшого розгляду.

Таблиця. Вплив забруднювачів на людину та довкілля

Назва	Клас небезпеки	Вплив на людину	Вплив на довкілля
Пил	3-4 (в залежності від складу)	Вплив на бронхо-легеневу систему: кашель, біль під час дихання, подразнення слизових оболонок; хронічний бронхіт, порушення функцій легенів, атрофія та ерозії слизової оболонки носа й носоглотки, катар бронхів, трахеї, загострення туберкульозу легенів, напади бронхіальної астми, алергічні реакції. Пил може сорбувати й нести на собі канцерогенні, мутагенні, токсичні речовини. Підсилює вплив газоподібних речовин.	Зменшує прозорість і видимість атмосфери, закупорює продихи клітин рослин, порушує процес фотосинтезу (ускладнює доступ сонячних променів до хлоропластів).
Окис вуглецю (CO)	4	Вступає у реакцію з гемоглобіном, позбавляє тканини кисню, викликає кисневу недостатність, головний біль, запаморочення, розвиток серцево-судинних хвороб, може викликати удушшя.	Негативно впливає на рослини та тварин.
Двоокис сірки (SO_2)	3	Подразнення слизових оболонок, ларингіти, бронхіти, астма, розлади легеневої діяльності, посилення респіраторних захворювань.	Викликає кислотні дощі, що призводить до закислення водойм та ґрунтів та порушення життєдіяльності флори та фауни. Пригнічує процеси фотосинтезу.
Двоокис азоту (NO_2)	2	Подразнення слизових оболонок, респіраторні захворювання, вплив на кров'яну систему, гепатотоксичний ефект. При взаємодії з органічними речовинами може викликати біологічні мутації.	Викликає кислотні дощі, смог, погіршення видимості (блокує розповсюдження світла у міських зонах), пригнічує життєдіяльність рослин.
Вуглеводні	4	Функціональні зміни ЦНС, подразнення дихальних шляхів, нудота, запаморочення, сонливість, розлад дихання й кровообігу. Деякі вуглеводні є канцерогенами.	Входять до складу парникових газів, що спричиняють парниковий ефект. Є складовими смогу. Можуть бути вибухонебезпечними.

Перелік посилань

1. Запольський А.К. Основи екології / *А.К. Запольський, А.І. Салюк*. – К.: Вища школа, 2004. – 382 с.

2. Дорошенко С.П. Литейное производство: Введение в специальность / *С.П. Дорошенко, Т.Ч. Комовник, А.П. Макаревич*. – К.: Вища школа, 1987. – 182 с.

3. Прогрессивные технологии очистки пылегазовых выбросов: Обзор. информ. / *Д.Н. Худокормов, О.А. Белый, В.И. Глуховский, В.А. Дедовец.* – Мн.: БелНИИНТИ, 1990. – 43 с.

УДК 669.02/09:621.771.2:669.018.2/8.001.5

А.С. Козачёк, Э.В. Приходько

Институт черной металлургии НАНУ им. З. И. Некрасова, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ СТАНА 850 РУП «БМЗ»

В литературе проблемы легирования стали освещены достаточно полно. В то же время вопросы легирования малыми добавками, их влияние на структуру и свойства стали, а также влияние остаточных элементов, таких как титан, ванадий, ниобий и молибден, освещены недостаточно. Однако влияние малых добавок (сотых и тысячных долей) зачастую бывает настолько велико, что в некоторых случаях уступает влиянию ряда дефицитных элементов.

Задача исследования заключается в том, чтобы путём корректировки содержания в стали дефицитных элементов легирующей подсистемы, например, марганца, хрома, никеля, в зависимости от содержания в примесной подсистеме стали тугоплавких компонентов шихты, например титана, ванадия, ниобия и молибдена повысить точность определения массы добавок и получить металл с требуемым уровнем физико-механических свойств.

Предлагаемый метод решения таких задач, связанных с оптимизацией химического состава, базируется на использовании теоретических представлений и математического аппарата концепции направленной химической связи [1 - 2].

Возможность рассмотрения составов многокомпонентных сплавов на языке интегральных модельных параметров позволяет использовать методику картирования для определения оптимальной концентрации как отдельных компонентов состава стали, так и составов, обеспечивающих благоприятное для потребительских свойств

металлопроката сочетание его прочностных и пластических свойств. В частности, из рисунка следует, что с увеличением параметра Z^{Y}_{pr} доводку легированием марганцем целесообразно вести с ориентировкой на нижний предел марочного состава.

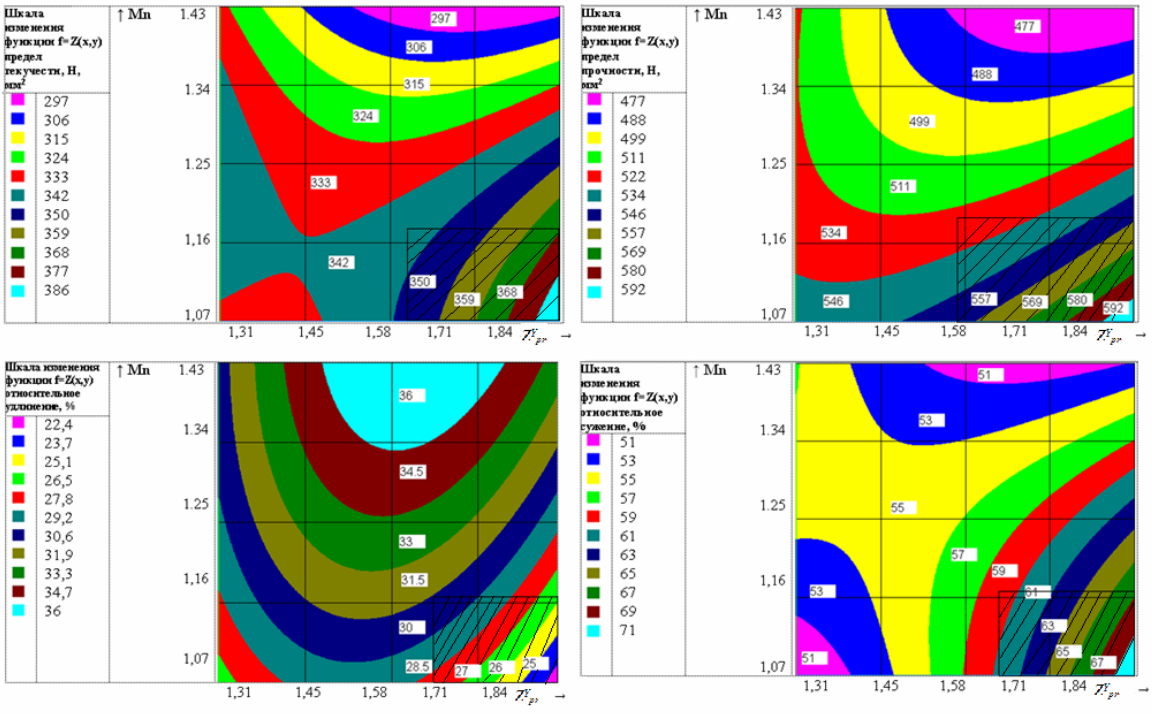


Рисунок. Карты поверхности для механических свойств на массиве из сталей 16MnCrS5, S355J2.

По сравнению с традиционными методами математического моделирования подобные картограммы имеют неоспоримое преимущество: наглядность представления сложных нелинейных зависимостей в форме, удобной для решения задач прогнозирования следствий изменения состава.

Реализация разработанных предложений, обеспечит определение путей снижения расхода легирующих элементов без ущерба для комплекса свойств и качества готового проката, что повысит его конкурентоспособность.

Список литературы:

1. *Приходько Э.В.* Теоретические основы физико-химических моделей структуры многокомпонентных материалов / *Э.В. Приходько* // Известия АН СССР. Металлы. – 1994. – №6. – С. 208-214.

2. Информационно – математическое обеспечение оценки Влияния химического состава на свойства готового проката / *Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.С. Козачёк, В.Г. Раздобреев, Л.А. Головко* // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Днепропетровск, 2010. – Выпуск 3 (68). – С.33-39.

УДК 669.141.1:669.162.094.1: 661.975

Н.А. Колбин, А.В. Бабенко

НМетАУ, Днепропетровск

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ CO И H_2 ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СЛОЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Известно, что в зависимости от температуры сродство к кислороду у водорода и оксида углерода меняется, имея одинаковое сродство при температуре 810^{o}C [1]. В работах [2,3] показано, что при восстановлении слоя железорудных материалов происходит пространственное разделение ступеней восстановления. При этом в зависимости от температуры, в слое формируются различные реакционные зоны. Но во всех случаях наиболее медленной реакционной зоной при восстановлении слоя железорудных материалов является реакционная зона FeO - Fe. В работе [4] приведен расчет скорости движения для этой реакционной зоны. Возможность расчетного определения скорости движения реакционной зоны позволит прогнозировать производительность агрегата прямого получения железа.

В агрегатах прямого получения железа чаще всего в качестве восстановителя используют конвертированный природный газ. Отношение H_2/CO составляет для различных типов конверсии: термического разложения - 18-28; углекислотной - 0,9; паровой – 3,1-3,25; для воздушной -2,25; для кислородной – 1,7-1,75.

В связи этим представляет интерес поиск рационального соотношения между оксидом углерода и водородом при восстановлении слоя железорудных материалов. При использовании в качестве восстановителя смеси газов CO+H_2 важно добиться чтобы скорость перемещения лимитирующей реакционной зоны и для оксида углерода и для водорода была одинаковой. Если эти скорости будут различными, то либо CO либо H_2 могут быть использованы не в полной степени, либо изменятся параметры реакционной зоны, что приведет к нарушению устойчивого режима работы шахтного агрегата.

Были проведены расчеты скорости движения реакционной зоны для случая восстановления оксидом углерода и водородом. Получены данные расчета скоростей продвижения реакционной зоны FeO - Fe при использовании в качестве восстановителя H_2 либо CO для трех температур: 600, 700 и 900^{o}C. Из приведенных данных следует, что одинаковые или близкие скорости передвижения зоны FeO -Fe соответствуют следующим соотношения H_2 и CO: 2.5:2.5 при 800^{o}C; 2,5:2,5 при 900^{o}C;

3,5:1,5 и 3,2:1,8 при 600°С. Соотношение H_2 и CO соответственно равны: 1; 1; 2,3 и 0,7. Такие составы газа получаются при углекислотной и воздушной конверсии природного газа. Соответственно рациональными являются составы углекислотной конверсии при температуре восстановления 800°С и 900°С, воздушной и кислородной при температуре восстановления 600°С.

Список литературных источников

1. *Ростовцев С.Т.* Теория металлургических процессов / С.Т. Ростовцев. – М.: Металлургиздат, 1956. – 515с.

2. Исследование кинетики восстановления слоя железорудных материалов газами / О.Л. Костелов, О.А. Степанов, Н.А. Колбин [и др.] // Физикохимия прямого получения железа: сб. материалов Всесоюзной научной конференции. – М. : Наука, 1977. – С. 123-128.

3. Rist A. Reduction d'un lit d'oxides de fer par un gas. Part 1. Etude theorique dans l'hypothese de vitesses inifinie de reaction / A. Rist, G. Bonnivard // Revue metallurgie – 1963. – 60. – N1. – P. 23-27.

4. *Колбин Н.А.* Моделирование и выбор рациональных режимов металлизации железорудных окатышей в шахтном агрегате / Н.А. Колбин, Л.В. Камкина, А.В. Бабенко // Системні технології : регіональний міжвузівский збірник наукових праць. – 2011. – №2(73).

УДК 669.162.2:669.162.215:169.162.262.001.5

Б.В. Корнилов, А.Л. Чайка

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СВОБОДНОЙ ОТ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ОБЛАСТИ КОЛОШНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Газодинамическая работа свободной от шихты зоны колошника, как и тепловая работа системы охлаждения, отражает динамику изменения теплообменных процессов в рабочем пространстве печи. Практический интерес представляет использование этой информации для своевременного определения расстройств в тепловой работе печи и оценки рациональности выбранного технологического режима ведения доменной плавки.

Увеличение выноса колошниковой пыли и потерь давления в свободной от шихты зоны колошника может стать причиной уменьшения ресурса работы газоочистки и ухудше-

ния показателей тепловой работы печи. С целью анализа влияния газодинамической работы свободной от шихты зоны колошника на вынос колошниковой пыли разработана и опробована модель, основанная на физических законах сохранения массы и количества движения колошникового газа, которая реализована численным моделированием по методу Рунге-Кутты. Исследования потерь давления в свободном от шихты колошниковом пространстве используется с применением метода Бернулли.

Для планирования и оперативного управления доменной плавкой разработана методика, позволяющая получить влияние давления и температуры колошникового газа, которые контролируются в автоматическом режиме, на выход колошникового газа и его скорость.

Получено, что технико-экономические показатели работы доменной печи тесным образом связаны с параметрами газодинамической работы колошника: расходом, давлением и температурой колошникового газа. Обобщающим показателем работы свободной от шихты зоны колошника является скорость колошникового газа, которую целесообразно контролировать в автоматизированном режиме.

При проектировании и реконструкции доменных печей целесообразно определять рациональный диаметр газоотводов с точки зрения уменьшения потерь давления в печи и выноса колошниковой пыли. Увеличение давления под колошником приводит к уменьшению выноса колошниковой пыли и уменьшению потерь давления в свободной от шихтовых материалов зоне колошника. Увеличение температуры колошникового газа приводит к уменьшению выноса колошниковой пыли и увеличению потерь давления. При уменьшении суммарной площади газоотводов на 20% потери давления в свободной от шихты части колошника уменьшаются в 1,5 раза.

Оперативное изменение давления под колошником позволяет поддерживать на заданном уровне скорость колошникового газа, а значит скорости и потери давления в столбе шихты, «ровность» хода доменной печи. Управляя в оперативном режиме давлением под колошником и составом дутья, ориентируясь на скорость колошникового газа и соотношение потерь давления по высоте печи, можно добиться улучшения технико-экономических показателей доменной плавки.

Список использованной литературы

1. Исследования тепло-газодинамической работы в «сухой» зоне доменной печи и применение их результатов / В.И. Большаков, А.А. Сохацкий, А.Л. Чайка [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 15-19.

2. Домна в энергетическом измерении / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, Г.И. Орел [и др.]. – Кривой Рог: Издательство СП «Мира». – 2004. – 436 с.
3. Работа доменной печи с рациональным газодинамическим режимом в шахте / М.Т. Бузоверя, А.Г. Ульянов, С.Т. Шулико [и др.] // Черная металлургия. – 1985. – №12. – С.47-48.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
6. Исследование газодинамической работы колошника / Б.В. Корнилов, Н.Н. Лычагин, А.Л. Чайка // Теория и практика тепловых процессов в металлургии: Сб. докл. междунар. научно-практ. конф. 18 – 21 сент. 2012 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 99-107
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1970. – 904 с.
8. Давідсон В.Є. Вступ до гідродинаміки : підручник. [пер. з рос.] – Вид-во ДНУ, 2004. – 216 с.

УДК 669.162.16

Н.В. Косолап, Ю.А. Зинченко, А.Г. Курпе

ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь

СОВРЕМЕННЫЙ КОМПЛЕКС ПО ВДУВАНИЮ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ

В настоящее время комплексы по пылеугольному вдуванию в доменные печи (ПУТ) применяют более чем в 30 странах и в мире ежегодно выплавляется свыше 600 млн т чугуна. Доля замены кокса ПУТ выросла до 40-50 %, ведутся научно-исследовательские работы по повышению этого показателя до 60-80 %.

На ПАО «ММК им. Ильича» для подготовки к освоению технологии – ПУТ приняты следующие мероприятия, компенсирующие его негативное влияние на технологию: повышено в агломерате содержание фракции >80 мм почти в два раза, выведен из состава дутья природный газ (ПГ) и повышено содержание в нем кислорода, что обеспечило повышение теоретической температуры горения и снижение выхода горновых и колошниковых газов. Указанных средств оказалось достаточно для обеспечения эффективной работы доменных печей при вдувании ПУТ в горн до 150-170 кг/т чугуна. Для производства ПУТ используется уголь марки СС с содержанием золы до 8 % и серы < 0,5 %.

В 2013 г. с использованием пылеугольного комплекса расход ПУТ на доменных печах № 1-5 вырос до 150-170 кг/т чугуна, что позволило исключить вдувание в горн природного газа снизить расход кокса с 500-520 до 360-380 кг/т чугуна и повысить производительность печей.

В анализируемых периодах выведение из состава дутья ПГ в количестве 37 $м^3$/т чугуна обеспечило рост теоретической температуры горения на 153°С и снижение выхода горновых газов на 57 $м^3$/т чугуна. Расход кокса снижен на 109-155 кг/т чугуна (21,0-29,9 %), что определило уменьшение его объемной доли в шихте на 5,5-9,4 %. Суммарный коэффициент замены SKЗ при изменении расхода ПУТ от 0 до 170 кг/т чугуна составил 1,04 кг/кг, что соответствует основному требованию принципа полной и комплексной компенсации.

Эффективность компенсирующих мероприятий без вдувания ПУТ (июль – август 2012 г.) и с вдуванием (июнь 2013 г.) составила 34 кг/т чугуна (0,2 кг/кг). Следовательно, коэффициент замены кокса только ПУТ составил 0,8 кг/кг. Коэффициент замены углерода кокса углеродом ПУТ несколько выше и составляет 0,983 – 0,993 кг/кг. Освоение ПУТ-технологии сопровождалось также снижением расхода условного топлива на 21-26 кг/т чугуна (3,72 – 4,6 %) и стоимости энергоресурсов на 157 – 186 грн.

Анализ выполненных материально-тепловых балансов подтверждает положительные изменения в технологии доменной плавки при вдувании в горн ПУТ. Прежде всего – это комплексные компенсирующие факторы: снижение расхода дутья на 184-247 $м^3$/т чугуна (13,9-18,7 %), выхода горновых газов на 183-230 $м^3$/т чугуна (10,7-13,4 %), выхода колошниковых газов на 201-252 $м^{3/}$т чугуна (10,3-12,9 %), выхода шлака на 8-38 кг/т чугуна, прихода серы с шихтой на 27,9-33,8 %, степени прямого восстановления FeO на 5,5-9,4 % (абс.) и др.

Производительность печей при вдувании ПУТ существенно повысилась, что является прямым следствием увеличения содержания кислорода в дутье на 1,57-2,28 %, снижение выхода шлака, улучшение качества кокса и ПУТ. Суммарным показателем указанных изменений, является снижение выхода горновых газов на 10,7-13,4 % на 1 т чугуна, что при прочих равных условиях предопределяет аналогичное повышение производительности печи. Увеличение производительности в опытных периодах можно объяснить интенсивной компенсацией данных показателей скоростью газа в распаре (11,7-17,2 м/с) и выходом горновых газов (3684-4069 $м^3$/т кокса), значения которых при вдувании ПУТ в условиях ПАО «ММК им. Ильича» существенно ниже критического уровня.

При совершенствовании ПУТ-технологии в условиях ПАО «ММК им. Ильича» необходимо, прежде всего, обеспечить снижение уровня выхода шлака и мелочи 5-0 мм в железорудной шихте до базового уровня с тем, чтобы сохранить возможность повышения производительности печей.

Таким образом, построенный и введенный в эксплуатацию пылеугольный комплекс мощностью по пылеугольному топливу 1 млн т/год на ПАО «ММК им. Ильича» дал возможность освоить технологию доменной плавки с вдуванием ПУТ в количестве 150-170 кг/т чугуна, что позволило полностью вывести из состава дутья ПГ, снизить расход кокса на 109-155 кг/т чугуна (21,0-29,9 %), повысить производительность доменных печей. Успешному освоению ПУТ-технологии способствовали такие компенсирующие мероприятия как, повышение содержания кислорода в дутье на 1,57-2,28 %, вывод из состава дутья природного газа, улучшение качества кокса и агломерата, высокое качество ПУТ и др.

УДК 669.054:669.74

С.А. Купцов, М.Ю. Проценко, И.С. Скиданов

ДонГТУ, Алчевск

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАСЫЩЕНИЯ МЕТАЛЛА МАРГАНЦЕМ МЕТОДОМ ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Внепечная обработка железоуглеродистых расплавов с использованием традиционных агрегатов ковш-печь целесообразна лишь для ковшей объемом более 10 т, поэтому возникает необходимость в поиске альтернативных технологий и оборудования, позволяющих осуществлять эффективную доводку небольших объемов металлического расплава. Одним из перспективных способов обработки расплавов в ковшах небольшой емкости может быть, относительно новый, метод дугового глубинного восстановления (ДГВ) элементов для рафинирования и раскисления-легирования металла [1, 2]. Сущность разработанной технология ДГВ заключается в восстановлении необходимых элементов из рудной смеси входящей в состав специальных блоков в зоне погруженной в расплав электрической дуги. Основным элементом технологии является дуговой блок состоящий из комбинированного электрода вокруг которого набивается рудно-восстановительная смесь.

Авторами настоящей работы разработана технология раскисления-легирования железоуглеродистых расплавов марганцем, восстанавливаемым из оксидов, входящих в состав различных марганецсодержащих материалов.

При использовании в качестве основного сырья шлака от производства силикомарганца комбинированный электрод представлял собой стальную трубку внутри набитую электродной смесью из 70-71% графита, 17-18% пека каменноугольного и 11-12% магнезита, а рудная часть состояла из 50-51% шлака, 26-27% негашеной извести, 6,5-7% отходов металлургического кокса и 15-16% каменноугольного пека. Из опробованных восстановителей наибольшая эффективность достигнута при использовании в кокса или боя графитовых электродов. Количество необходимых для восстановления углеродсодержащих материалов рассчитывается по стехиометрии реакций восстановления марганца и кремния, с учетом 50-60 % углерода пека, остающегося в блоке после коксования;

Установлено, что максимальная мощность в зоне горения дуги (11-12 кВт), необходимая для восстановительных процессов, обеспечивается добавкой в состав электродной смеси магнезита в количестве 11-13% при этом процесс горения (расходования) комбинированного электрода имеет ступенчатый характер. В процессе сжигания комбинированного электрода высота откалывающегося кусочка электродной смеси уменьшается при увеличении мощности подводимой на дугу и при ее величине 11-12 кВт (0,079-0,085 кВт/мм^2) составляет 1,5-2 мм.

По результатам экспериментальных плавок проведенных в лабораторных и промышленных условиях установлено, что:

– степень извлечения марганца в пределах 70-90 % и кремния 20-35 %, а также синхронное расходование всех элементов дугового блока получены при его диаметре 52-58 мм (ср. 55 мм), линейной скорости расходования 0,40-0,45 мм/с (max при 0,43 мм/с), основности рудно-восстановительной смеси 1,4, температуре расплава перед обработкой свыше 1500 ^{0}С, удельной мощности подводимой в зону реакции в пределах 5,0-6,0 Вт/мм^2 площади поперечного сечения рудно-восстановительного блока

− снижение суммарных затрат на обработку металла в сравнении с обработкой ферросплавами составляет 30-40 %.

На основании проведенных исследований определены основные технологические параметры новой технологии раскисления-легирования чугуна и стали в ковшах (плавильных агрегатах) небольшой единичной емкости. В ходе дальнейших исследований будут разработаны рекомендации по конструктивным особенностям блоков и технологическим параметрам обработки для агрегатов емкостью 0,06-10 т.

Список литературы

1. Куберский С.В. Электродуговое извлечение полезных примесей металлургических отходов и вторичных материалов в железоуглеродистые расплавы / С.В. Куберский // Металлургическая и горнорудная промышленность. – №7. – 2010. – С. 168-169.
2. Низяев К.Г. Десульфурация чугуна и стали магнием, восстановленным в зоне погруженной в металл электрической дуги / К.Г. Низяев, Б.М. Бойченко // Бюллетень НТИ. Черная металлургия. – 2007. – №11. – С. 34-39.

УДК 669.786:658.567.1.002.8

Лелеко Д.В., Трегубенко Г.Н.

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБАМИДСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАТУР ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕЙ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Анализ современных методов производства азотсодержащих сталей свидетельствует, что в настоящее время не существует универсального азотоносителя [1]. Так, разработанные в последние десятилетия методы прямого легирования стали азотом из газовой фазы в плазменно-дуговых печах или в конвертерах с донным подводом дутья получили промышленное развитие лишь для высокохромистых коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов и экономически непригодны для сталей массового производства. Главными причинами является необходимость в дорогостоящем специальном оборудовании, его относительно низкая производительность, низкая стойкость футеровки и др.

Наиболее распространенным способом легирования стали азотом является применение азотированных ферросплавов, которые вводятся в плавильный агрегат перед выпуском или в ковш в процессе выпуска жидкого металла. К преимуществам такого способа следует отнести его простоту, отсутствие необходимости в специальном сталеплавильном оборудовании и достаточную надежность попадания в заданные марочным составом пределы содержаний азота.

На основании большого числа исследований, проведенных на кафедре электрометаллургии под руководством профессора Хитрика С.И., акад. Гасика М.И. и проф. Рабиновича А.В. по разработке азотированных ферросплавов в НМетАУ был разработан способ жидкофазного окускования АЛ, [2,3] состоящий в том, что при на-

гревании смеси металлического наполнителя и азотсодержащей добавки до температуры обеспечивающей ее плавление без разложения, последняя выполняет роль связки, обеспечивая тем самым способность смеси к формообразованию. Универсальными материалами являются практически все отсевы сплавов марганца и кремния. Для специальных случаев в качестве наполнителя могут быть использованы феррохром, феррованадий.

На основании всего комплекса выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны технология получения жидкофазно окускованных АЛ и ее аппаратурное обеспечение.

При проведении исследований за базовую марку стали была выбрана сталь 20ГСЛ применяемая для отливок ответственного назначения работающих в диапазоне температур от 250 до 450^{o}С по ОСТ 108.961.03-79. Опытно – промышленное опробование технологии комплексного микролегирования стали 20ГСЛ в условиях АО «Армапром» в печи ДСП-3 проводили по действующей технологической инструкции с изменениями касающимися ввода азота, титана и алюминия. В качестве шихты для выплавки стали 20ГСЛ используется стальной лом и отходы собственного производства, а также электродный бой.

Окисление расплава начинается при температуре (1580 ± 20)^{0}С и производится техническим кислородом, железной рудой или тем и другим одновременно. Началом окислительного периода плавки считается момент ввода руды или кислорода после обновления шлака по расплавлению шихты.

После скачивания окислительного шлака расплав при необходимости науглераживается из расчёта усвоения углерода 70%. В расплав вводится кусковой алюминий на штангах 0,6-0,8 кг/т расплава, кусковой ферросилиций и расчётное количество марганца металлического. Затем вводят в ванну азотсодержащую лигатуру в количестве ≈1,0 кг/т стали, после чего наводится рафинировочный шлак.

После расплавления шлакообразующей смеси расплав перемешивается деревянными или железными гребками. При температуре (1620 ± 10)^{0}С отбирается проба на химический анализ, затем начинается раскисление шлака порошками ФС65, алюминиевым порошком и алюмофлюсом. Затем металл выдерживается под белым рафинировочным шлаком 20-40 мин. В начале выпуска вводится в ковш алюминий на штанге в количестве ≈0,5 кг/т, а после заполнения 1/3 под струю ферротитан ФТи70 в количестве ≈0,7 кг/т. Металл в ковше корректируют трехкомпонентной Al-Ca-Ti проволокой после чего продувают аргоном не менее 5 мин. Температура металла в ковше перед выпуском составляла 1640-1650 ^{0}С.

Исследование механических свойств опытной стали проводили в интервале температур 250-450^{o}C с интервалом 50^{o}C, в соответствии с ГОСТ 9551-84 и ГОСТ 9651-84. Результаты механических испытаний показывают, что даже при максимально допускаемой температуре эксплуатации (450^{o}C) микролегированная сталь 20ГСЛ имеет уровень предела текучести на 170 – 200 МПа выше требуемого к базовой стали для температуры 400^{o}C.

Список литературы

1. Рабинович А.В. Исследование процессов взаимодействия азота с металлическими системами и разработка новых методов производства азотированных ферросплавов и высокохромистых сталей: дис. доктора техн. наук: 05.16.02 / Рабинович Александр Вольфович. - Днепропетровск. 1975.-425с.

2. Пат. 43747 U Україна, МПК (2009) C22C 35/00. Азотовмісна лігатура / Панченко Г.М.. Учитель О.Д., Гасик М.І. - № 200903896; Заявл. 21.04.09; Опубл. 25.08.09, Бюл.№ 16.

3. Пат. 59276 A Україна, МПК 7 C22C35/00. Спосіб одержання азотовмісної лігатури \ Рабінович О.В., Трегубенко Г.М., Тарасьев М.І. та інші. - № 20021210430; Заявл. 23.12.02; Опубл. 15.08.03, Бюл.№ 8.

УДК 669.162.2:669.16:621.745.551

Э.И. Лытарь, О.В. Кукса

Институт черной металлургии НАНУ им. З. И. Некрасова, Днепропетровск

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫСОКУЮ СТЕПЕНЬ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ И ОБЕССЕРИВАНИЯ ЧУГУНА

Задача нахождения оптимального режима работы доменной печи зависит от большого числа различных факторов, часть которых неразрывно связана с тепловым состоянием доменной печи. В качестве индикатора теплового состояния доменной печи обычно используется кремний чугуна.

В целом, изменение содержания кремния и углерода в чугуне проходит согласованно. Сначала взаимосвязь содержания кремния и углерода в чугуне является прямой (при [Si]<0,8), так как на первом этапе плавки позитивное влияние роста температуры на содержание углерода в чугуне является преобладающим. При этом содержание кремния в чугуне также увеличивается. При [Si] ≈ 0,7 – 0,8% содержание углерода в чугуне приближается к насыщенному, и дальнейший разогрев значительного влияния на содержание углерода в чугуне не оказывает.

Исследователи [1] отмечают, что $[C]_{факт.}$ и $C/C_{нас.}$ реагируют на похолодание в среднем на один выпуск раньше, чем содержание кремния и температура чугуна. Также исследователи [1] отмечают, что взаимосвязь углерода и кремния в чугуне имеет вид параболы (рис 1.), в то время, как многие исследователи описывают прямой или обратный характер этой зависимости, что свидетельствует о соответствующей ветви параболы, характеризующей рабочий режим печи.

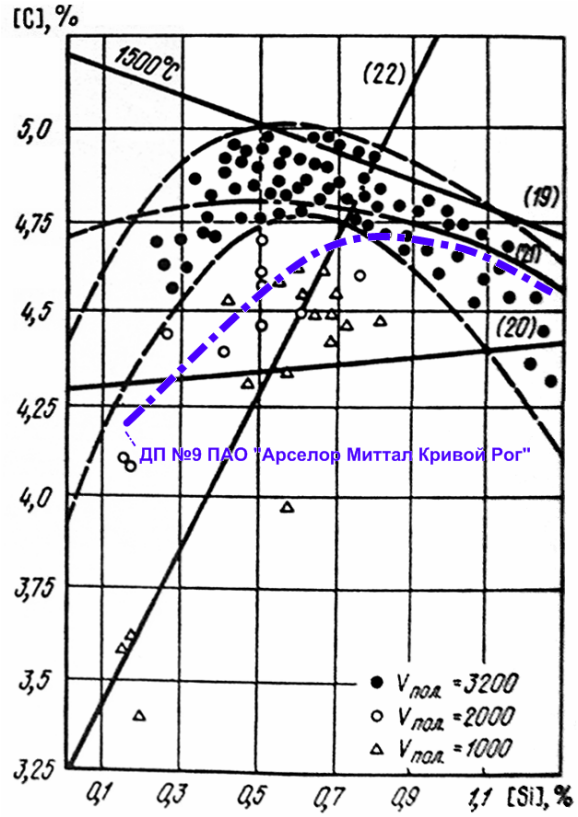


Рис. 1. Связь содержания кремния и углерода в передельном чугуне

По нашему мнению, в верхней части параболы (рис. 1) создаются наиболее благоприятные условия работы доменной печи. Нахождение оптимума для конкретной доменной печи означает не только обеспечение нормальной эксплуатации углеродистой футеровки доменной печи, но и значительное снижение содержания серы в чугуне. Например, для условий ДП № 9 ПАО “Арселор Миттал Кривой Рог” этот оптимум смещается правее, имея вид прямой связи до значений [Si] ≈ 0,9, а правая часть параболы лишь незначительно приобретает вид обратной связи.

Задача прогнозирования содержания углерода в чугуне усложняется тем, что в оптимальной области работы доменной печи парная взаимосвязь между углеродом и кремнием может значительно снижаться, из-за чего точность прогнозных моделей фактического содержания чугуна также снижается. Определенное повышение точности прогноза [C] обеспечивает использование технологических параметров до-

менной плавки или интегральных характеристик шлака. Наиболее значимым при этом является параметр Z^y шлака, рассчитанный по модели разупорядоченной системы [2].

Так, для условий ДП №9 ПАО “Арселор Миттал Кривой Рог” получена следующая зависимость (r = 0,72):

$$[C] = 2{,}745 + 0{,}18[Si] + 0{,}36[Mn] – 0{,}744[S] + 0{,}0026Rpg \quad (1);$$

При введении в модель параметра Z^y шлака точность моделей увеличилась (r = 0,8):

$$[C] = 1{,}4 + 0{,}167[Si] + 0{,}34[Mn] – 0{,}40[S] + 1{,}04Z^y_{шл} + 0{,}0027Rpg \quad (2);$$

$$[C] = 3{,}004 + 0{,}307[Si] + 0{,}09[Mn] – 0{,}526[S] + 0{,}797Z^y_{шл} + 0{,}000019Rd \quad (3);$$

где Rpg – расход природного газа, составляющий в среднем 518 $м^3$/мин, при среднем расходе дутья (Rd) 7164 $м^3$/мин.

Полученная точность моделей позволяет рекомендовать их для оценки содержания углерода в чугуне. При использовании природного газа рекомендуется зависимость (2), в остальных случаях рекомендуется зависимость (3).

Список литературы

1. *Юсфин Ю.С.* Науглероживание железа в современных доменных печах / *Ю.С. Юсфин, М.А. Альтер, Ю.А. Литвиненко* // Сталь. – 1986. – №5. – С. 7–11.

2. *Приходько Э.В.* Металлохимия многокомпонентных систем / *Э.В. Приходько*. – М. : Металлургия. 1995. – 320 с.

УДК 669.184

Мешалкин А.П., Камкина Л.В.

НМетАУ, Днепропетровск

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ С ПОВЫШЕННОЙ ДОЛЕЙ ЛОМА

Повышение энергоэффективности и снижение ресурсозатратности кислородно-конвертерного процесса, являющегося в настоящее время одним из высокоэффективных способов производства стали, может быть достигнуто за счет повышения доли лома в составе металлошихты.

Теоретический анализ и обобщение экспериментальных данных свидетельствуют о возможности повышения доли лома до 50-70% за счет внедрения ряда технологи-

ческих приемом, основанных на поддержании в расплаве в период кислородной продувки высокого восстановительного потенциала.

Увеличение доли лома может быть достигнуто при создании условий приближения скорости окисления углерода расплава, наблюдаемой при интенсивной продувке, к скорости растворения углерода из внешнего источника, поддерживающего в течении определенного времени высокий восстановительный потенциал расплава. В результате это обеспечит достаточное и необходимое количество теплоты для нагрева, плавления дополнительного количества лома и проведения стандартных технологических операций конвертирования.

Экспериментально определены скорости растворения углерода из графитового материала, располагаемого определенным образом в Fe-C расплаве в условиях естественной конвекции и при принудительном перемешивании расплава, являющимся следствием кислородной продувки ванны высокотемпературной модели конвертера.

Установлено положительная роль кислородной струи, которая реализуется в следующем. Во-первых, кинетическая энергия струи и энергия всплывающих пузырей CO, образующихся при взаимодействии растворенного в расплаве кислорода и оксида железа с углеродом расплава, создает интенсивные циркуляционные потоки. Во-вторых, интенсивные конвективные потоки жидкой фазы ускоряют отвод растворяющегося углерода от границы раздела графитовая пластина-расплав в объем ванны. Эти воздействия приводят к ускорению растворения углерода, а наличие окислительной среды интенсифицирует реакции окисления углерода расплава, концентрация которого в расплаве восполняется за счет наличия потока углерода в расплав.

Результаты исследования подтверждают возможность проведения процесса выплавки стали с поддержанием, на протяжении увеличенного по продолжительности периода интенсивной продувки, высокого содержания углерода в расплаве при значительной скорости его окисления. Это привело к увеличению прихода тепловой энергии от окисления значительно большего, по сравнению с исходным содержанием, углерода, что в свою очередь, позволило увеличить долю лома металлошихты.

Показано, что предельно достигаемая доля лома в основном определяется, в условиях высоких скоростей растворения углерода графита, зависящих от отношения поверхности графитового образца, на которой идет процесс растворения углерода, к объему жидкости, от габаритов агрегата.

Изучение термодинамических характеристик и кинетических закономерностей растворения углерода различных материалов в железоуглеродистых расплавах позволили обосновать наиболее рациональные параметры ведения процесса выплавки стали с повышенной долей лома с получением качественной стали или стального полупродукта, что позволит вывести кислородно-конвертерный процесс на новый качественный уровень по всем основным показателям.

УДК 628.3:669.587:669.268

А. Г. Мєшкова, М. В. Сухарева

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ЦІАНІДІВ ГАЛЬВАНОСТОКІВ РЕАГЕНТНИМ СПОСОБОМ

Серед найважливіших проблем захисту навколишнього середовища особливе місце займає охорона водного басейну від забруднення. Основним негативним чинником, який серйозно впливає на стан водного басейну є скидання стічних вод промисловими підприємствами. Стічні води гальванічних виробництв складають 30-50 % загальної кількості стічних вод, що утворюються на машинобудівних підприємствах. Вони містять солі важких металів, кислоти, луги, поверхнево-активні речовини, тому представляють велику екологічну загрозу.

Аналіз складу гальваностоківдеяких машинобудівних виробництв дає наступні усереднені концентрації шкідливих інгредієнтів у цих стічних водах (мг/л): загальна мінералізація - до 2000; зважені речовини - до 400; азот амонійний - до 30; сульфати - до 500; хлориди - до 1000; жири й мастила - до 25; залізо - до 50; мідь - до 35; нікель - до 40; цинк - до 25; хром$^{+3}$ - до 130; хром$^{+6}$ - до 120; кадмій - до 2; фторід-іон - до 2; ціаніди - до 100; pH 9,5.

Гальванічне цинкування здійснюється за допомогою кислих, ціаністих, цинкатних і амміакатнихелектролітів. Кислі електроліти, основними складовими яких є $ZnSO_4$, Na_2SO_4, $Al_2(SO_4)_3$, застосовують для деталей простої форми. Для цинкування деталей складної форми використовують ціаністі електроліти, які представляють собою розчини Zn, NaCN, NaOH. Цинкатні й амміакатні електроліти також застосовують для цинкування виробів складної форми, хоча мають і трохи менший ефект розсіювання (забезпечують меншу однорідність покриття), чимціаністі. У ці

електроліти, крім окису цинку, у першому випадку додають їдкий натр, а в другому - хлористий амоній.

Для цинкування у стаціонарних ваннах широко застосовують електроліт наступного складу: окис цинку - 40-45 г/л, ціаністий натрій - 80-85 г/л, їдкий натр - 40-60 г/л.

Склад електроліту для блискучого цинкування: окис цинку - 40-45 г/л, ціаністий натрій - 78-85 г/л, їдкий натр - 70-85 г/л, гліцерин - 3-5 г/л, сірчистий натрій - 0, 5-5,0 г/л.

В роботі проаналізовано методи очищення стічних вод від ціанідів, які використовуються на більшості підприємств.

Знешкодження синильної кислоти та її солей засновано на реакції переводу ціанідів сірчанокислим залізом у ферроціанід (жовта кров'яна сіль). Це нетоксична сполука, але вона далі не окислюється:

$$6NaCN + FeSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + Na_4Fe(CN)_6$$

Цяреакція протікає повільно та неповністю. Залишкові концентрації ціанідів перебувають в межах 0,2-0,5 мг/л, що перевищує ГДК.

Пропонується знешкоджувати ціаніди за допомогою таких реагентів як хлорне вапно чи гіпохлорітикальцію чи натрію. При взаємодії цих реагенів з водою утворюється сильний окиснювач − гіпохлоріт-іон.

За результатами досліджень було побудовано калібрований графік для визначення концентрації ціанідів в розчині (рисунок 1).

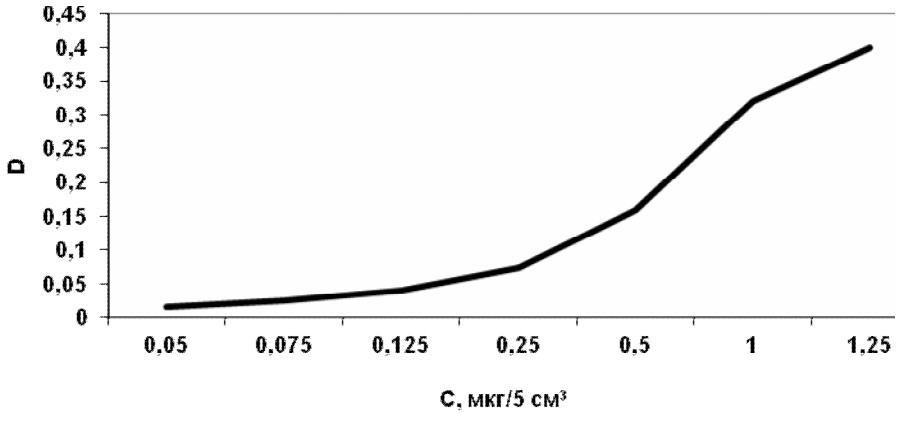


Рисунок 1- Калібрований графік для визначення концентрації ціанід-іонів

При проведеннідослідів по запропонованій схемі реагентногоочищення вміст ціанід-іонів зменшився з 8,3 до 0,03 мг/л, що нижче ГДК, ступінь очищення 99,6 %, тому використовуватиреагентнеочищення доцільно в цьому випадку.

Список літератури

1. *Долгоносов А. Н. Ионныйобмен и ионнаяхроматография. − М.: Химия, 1993. − 360 с.*
2. *Жуков А. И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методыочисткипроизводственных сточных вод. − М.: Химия, 1996. − 345 с.*

Я.В. Мяновская , Л.В. Камкина , Ю.Н. Грищенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ 2 СОРТА

На металлургических предприятиях полного цикла наибольшее количество твёрдых отходов образуется в доменном и сталеплавильном процессах. Большие проблемы вызывает утилизация доменного (5-10 кг/т чугуна) и конвертерного шлама (20-30 кг/т стали), вследствие их высокой влажности и наличия вредных компонентов (Zn, Pb, щёлочи). Степень переработки конвертерного шлака также невысока < 70%. Зачастую, единственной альтернативой складированию отходов в отвалы, является их утилизация в агломерационном производстве. Добавка металлургических отходов в агломерационную шихту является общепринятой практикой, однако доля данных отходов не превышает 1-2 % от массы сырых материалов и никак не сказывается на характере протекания агломерационного процесса и качестве агломерата.

В Украине балансовые запасы марганцевых руд составляют около 2 млрд. т. Более 70% отечественных марганцевых руд относятся к карбонатным и окисно-карбонатным разновидностями являются труднообогатимыми. Добываемая из недр сырая марганцевая руда вследствие высокого содержания компонентов пустой породы, представленной нерудными минералами - кварц, каолиновая глина и не может быть использована без предварительной подготовки в металлургическом переделе. Марганцевая руда подвергается обогащению с применением различных методов: гравитационного, магнитного, флотационного в различном их сочетании. Имеются сведения, что при обогащении марганцевых руд объем образующихся хвостов мокрой магнитной сепарации составляет до 6% от переработанной руды, а отходы флотации и дешламации – до 45% от переработанной руды.Для окускования мелочи,

пылеватых руд и концентратов применяют методы агломерации, брикетирования и окатывания. Предлагаемые технические решения по вовлечению в металлургический передел ограничиваются небольшими объемами мелкодисперсных фракций отходов обогащения марганцевой руды, что не решает задачи полной их утилизации. Отсутствуют сведения о вовлечении в производство значительных количеств мелкодисперсных отходов обогащения марганцевых руд.

Запасы марганцевой руды в Украине суммарно по Орджоникидзевскому и Марганцевому горно-обогатительным комбинатам составляют треть всех мировых запасов. Основным видом выпускаемой продукции Орджоникидзевский ГОК является марганцевый концентрат различных сортов с содержанием чистого марганца от 26% до 43% (в зависимости от сортности). Попутные продукты - керамзитовая глина и шламы.

Наиболее известным освоенным промышленным способом окускования отечественного марганцеворудного сырья, получившим развитие в последнее десятилетие, является агломерация. Изменение за последние годы химического, минералогического и гранулометрического состава марганцевых концентратов привело к снижению качества агломерата и показателей его производства. Опыт производства марганцевых ферросплавов в мощных закрытых или герметичных электропечах свидетельствует, что повышение количества мелких фракций (<5 мм) в шихтовых материалах приводит к нарушению стабильности режима плавки, повышению удельных расходов сырья и электроэнергии. Количество мелочи в шихте в значительной степени определяется прочностными характеристиками агломерата.

Как и при спекании железных руд, при получении марганцевого агломерата происходят процессы дегидратации, диссоциации оксидов и карбонатов, окислительно-восстановительные реакции, взаимодействие в сложных окисных системах. Образование в составе агломерата свободного манганозита затруднено в силу его достаточно высокой прочности. Входящие в состав марганцевых руд оксиды MnO_2, Mn_2O_3,Mn_3O_4относятся к непрочным и восстанавливаются при невысоких температурах. Наличие кремнезема в марганцевых концентратах связывает часть Mn_3O_4 в тефроит Mn_2SiO_4, что обеспечивает появление жидкой фазы при температурах агломерации.

С целью определения оптимальных параметров процесса обжига продуктов обогащения марганцевой руды (температуры, количества восстановителя, состава газовой фазы) с использованием программы HSC Chemistry 5.11был выполнен термодинамический анализ системы Mn-P-Si-Fe-Ca-C-O. Расчет равновесного состава

указанной системы выполнили в температурном интервале 400 - 1800 К, исходная газовая среда - воздух.

Установлено, что при отсутствии восстановителя в газовой фазе присутствуют только кислород, азот и CO_2, а конденсированная фаза представлена такими марганецсодержащими соединениями, как MnO_2, Mn_2O_3 и Mn_3O_4.Введение в шихту недостаточного количества восстановителя приводит лишь к частичному восстановлению диоксида марганца с образованием Mn_2O_3. При дальнейшем увеличении количества добавляемого углерода в конденсированной фазе наряду с Mn_2O_3 появляется гаусманит (Mn_3O_4). Максимальное количество Mn_3O_4 наблюдается при добавлении 9,5% углеродистого восстановителя. Дальнейшее повышение содержания углерода в шихте приводит к образованию MnO в конденсированной фазе. Максимальная степень восстановления достигается при добавлении к оксидному марганцевому продукту восстановителя в количестве 12 - 15%.

При оптимальной концентрации восстановителя в шихте изучали влияние температуры на степень восстановления марганецсодержащих соединений. Термодинамические расчеты показали, что при низких температурах наряду с частично восстановленным Mn_3O_4 присутствует также оксид MnO. При температуре 1000 - 1100К в конденсированной фазе при этом остается лишь незначительное количество Mn_3O_4, основная часть марганецсодержащих соединений представлена целевым продуктом MnO.

Важное значение для увеличения прочности готового агломерата имеет формирование легкоплавкой шлаковой связки, связывающей зернистую массу марганцевого концентрата. Как показали расчеты такой связкой являются силикаты марганца Mn_2SiO_4(температура плавления 1345ºС) и $MnSiO_3$(температура перитектического разложения 1291ºС). Их количество достаточно велико по сравнению с остальными фазами, образование которых возможно при спекании марганцевого агломерата. Количество свободной извести и двухкальциевого силиката изменяется незначительно. Можно предположить их незначительное влияние на прочность агломерата. Определенное влияние на образование различных фаз в структуре агломерата оказывает количество просасываемого воздуха. Рост расхода воздуха до 110м3/100 кг шихты приводит к возрастанию количества Mn_3O_4, а количество силикатов марганца практически не меняется.

УДК 669.188

К.Г. Низяев[1], А.С. Заспенко[2], А.Н. Стоянов[1]

[1] – Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

[2] – ПАО «ЕВРАЗ-ДМЗ им.Петровского», Днепропетровск

ПРОГРАММА РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО И ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

Работа большинства сталеплавильных заводов на современном этапе характеризуется разнообразием применяемых шихтовых материалов, причем качество и химический состав последних изменяется в широких пределах.

Проанализировать эффективность замены одного вида охладителя на другой, влияния качественных показателей шихты на технологические показатели конвертерной плавки на практике является достаточно сложной задачей из-за бессистемности изменения и наложения исходных данных, условий ведения конвертерной плавки.

На кафедре металлургии стали НМетАУ разработана статистическая модель материального и теплового баланса конвертерной плавки. После адаптации модели к условиям работы конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ – Днепропетровский металлургический завод им.Петровского» была просчитана выборка из 300 плавок текущего производства. Результаты сопоставления основных показателей плавки представлены на рис. 1.

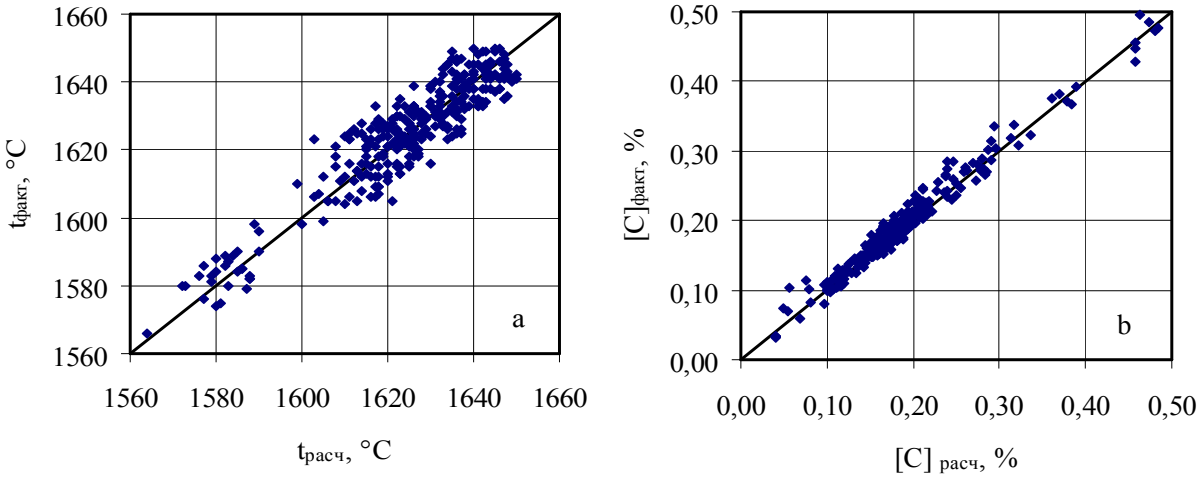


Рис. 1 Сопоставление расчетных и фактических результатов конвертерной плавки: a – для температуры, b – для содержания углерода на повалке

Предельное отклонение по температуре составило 20°С, по содержанию углерода – 0,048 %, что свидетельствует о достаточно высоком соответствии расчетных и экспериментальных данных.

УДК 696.162.267.6

К.Г. Нізяєв, Л.С. Молчанов, Б.М. Бойченко, О.М. Стоянов, Є.В. Синегін, П.О. Заблоцький

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

ТЕХНОЛОГІЯ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ ЕКЗОТЕРМІЧНОЮ ШИХТОЮ, ЩО МІСТИТЬ ОКСИД МАГНІЮ

В сучасних умовах важливим аспектом металургійного виробництва є збільшення ресурсо- та енергоощадності виробництва. Особливо гостро це питання постає ппри виробництві чавуну, оскільки його виплавка з низьким вмістом сірки потребує значних додаткових витрат флюсуючих матеріалів та зменшення продуктивності доменної печі. Тому при переході до світових стандартів якості процес позапічної десульфурації чавуну виноситься на окрему стадію виробництва. Серед розроблених технологічних операцій з видалення сірки найбільше поширення отримали процеси засновані на використанні металевого магнію, карбіду кальцію або матеріалів на їх основі [1 - 3].

Для збільшення енергоефективності процесів позапічної десульфурації чавуну в умовах напівпромислової лабораторії кафедри металургії сталі Національної металургійної академії України розроблена технологія видалення сірки з розплаву за рахунок обробки магнієм, який алюмотермічно відновлено з оксиду за рахунок тепла суміжних хімічних реакцій [4, 5]. Відповідно до неї у рідкий чавун вводиться екзотермічна шихта, яка складається з оксидів магнію, кальцію та заліза й металевого алюмінію у кількості 10 – 20 кг/т чавуну. При цьому за рахунок теплоти рідкого чавуну починають протікати відновлювальні процеси результатом яких є утворення парів магнію які й приймають участь у рафінуванні розплаву.

Для визначення ефективності розробленої технології були проведені її промислові та лабораторні випробування. В лабораторних умовах дослідження проводилися на переробному чавуні, а в промислових – на хромистому. Результати проведених досліджень наводяться у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати визначення ефективності десульфурації чавуну

№ п/п	Тип чавуну	Вміст сірки,%	
		початковий	кінцевий
1.	Переробний	0,032	0,0103 – 0,0096
2.	Хромистий	0,1400	0,0900 – 0,0721

Відповідно до виконаних досліджень, встановлена ефективність розробленої технології при промисловому виконанні.

Список літератури

1. *Величко О.Г.* Технології підвищення якості сталі: Підручник / О.Г. Величко, Б.М. Бойченко, О.М. Стоянов. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2009. – 234 с.

2. *Чернега Д.Ф.* Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.

3. *Бойченко Б.М.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА“Дніпро-ВАЛ”, 2006. – 456 с.

4. К вопросу о десульфурации чугуна магнезитосодержащими брикетами / Л.С. Молчанов, К.Г. Низяев, Б.М. Бойченко [и др.] // Бюллетень НТИЭИ “Чёрная металлургия”. – 2012. – №12. – С. 47-49.

5 Особенности десульфурации чугуна экзотермическими брикетами, содержащими оксид магния / Л.С. Молчанов, К.Г. Низяев, Б.М. Бойченко [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – №7. – С. 42-44.

УДК 669.184.244

К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов, Л.С. Молчанов

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ПОДГОТОВКА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА С ЦЕЛЬЮ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ШИХТЫ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Проблема рационального использования материальных ресурсов в условиях отечественного металлургического комплекса является задачей позволяющей решить проблему конкурентно способности продукции и одновременно улучшить экологическую обстановку в регионе.

Одним из путей решения поставленной задачи является вторичное использование сталеплавильного шлака в аглодоменном производстве.

В настоящее время сталеплавильный шлак подвергают частичной переработке, заключающейся в магнитной сепарации с целью извлечения железосодержащих компонентов. При этом такие полезные соединения присутствующие в конвертерном шлаке, как оксиды кальция, марганца не находят дальнейшего применения.

Прямое использование конвертерного шлака в составе шихты доменной плавки сопряжено с рядом трудностей: высокая температура плавления, что приводит к зарастанию горна доменной печи; низкая прочность материала в связи с присутствием несвязанного оксида кальция, что в свою очередь ухудшает ход доменной печи.

Для получения шлака с заданными физико-химическими свойствами, которые бы удовлетворяли требованиям аглодоменного производства необходимо подготавливать шлак путем ввода в него стабилизаторов на стадии выпуска из конвертера. Такой технологический прием дает возможность использования стабилизаторов шлака в количестве необходимом для связывания свободного оксида кальция с одновременным снижением температуры плавления шлака. При этом для прохождения физико-химических процессов взаимодействия стабилизатора и шлака используется физическое тепло шлака.

На кафедре металлургии стали НМетАУ в полупромышленной лаборатории выполнен комплекс высокотемпературных исследований по получению стабилизированного конвертерного шлака (СКШ). Выполненные исследования показали принципиальную возможность получения шлака с заданными физико-химическими свойствами: температура плавления не более 1350 ^{0}C; состояние шлака – стеклообразное; химический состав, % CaO не менее 35, SiO_2 12-14, MnO 4-5, $Fe_{общ}$ 30-35.

Выполненное математическое моделирование показало, что использование СКШ в составе шихты доменной плавки позволит заменить агломерат с коэффициентом от 0,3 до 0,5 и полностью исключить из состава шихты известняк.

УДК 621.74.047

А.В. Пархоменко

Донбасский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Повышение чистоты металла является одной из важнейших проблем металлургии стали. Неметаллические включения (НВ), присутствующие в стали, способствуют снижению механических свойств, нарушению течение металла при деформациях, оказывают влияние на перераспределение дефектов структуры и перемещения дислокаций [1,2]. Большая часть поверхностных и внутренних дефектов, образующихся при непрерывной разливке, имеет взаимосвязь с НВ, содержащимися в стали [3]. При этом моменты зарождения и развития некоторых дефектов в кристаллизаторе значительно повышают сложность и аварийность технологического процесса, что сказывается на производительности.

Актуальной практической задачей является эффективное удаление НВ ассимилированных из шлака на поверхность мениска, которые оказывают неблагоприятное воздействие на теплосиловые показатели шлакового гарниссажа, образование дефектов, подвисаний и прорывов, качество поверхности заготовки [4].

Целью работы было исследование механизма движения неметаллических включений между корочкой слитка и стенкой кристаллизатора. Для этого, была разработана физическая модель из органического стекла, позволяющая имитировать зазор между стенкой кристаллизатора и корочкой слитка. Зазор между стенкой кристаллизатора и заготовкой на современных слябовых МНЛЗ изменяется от 0,1 до 0,3 мм и зависят от скорости разливки и типа качаний кристаллизатора [5]. Вследствие этого величину зазора на модели было решено устанавливать 0,1 0,15 и 0,2 мм.

В качестве моделирующего вещества ШОС и неметаллических включений использовались масла трех типов: силиконовое, касторовое и масло отработка. Данные образцы масла были выбраны вследствие аналогии их вязкости с современными шлакообразующими смесями для высокоскоростных МНЛЗ. Для придания маслам конкретной плотности их температура изменялась в диапазоне 5-45 ^{0}C с шагом 10^0.

На основании проведенной работы было установлено, что скорость перемещения жидкого шлака до образования гарнисажа в зазоре между заготовкой и кристаллизатором составляет 0-0,11 м/мин. Шлаковые расплавы, обладающие вязкостью анало-

гичной с касторовым маслом, имеют низкий потенциал проникновения в исследуемые зазоры.

Исследования проникновения в зазор гетерогенных растворов масел показали, что наименее вязкий шлаковый расплав обладает способностью транспортировать более вязкие нерастворенные включения, свойства которых не обеспечивают самостоятельное проникновение их в зазор.

Список литературы

1. Вдовин К.Н. Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ / К.Н. Вдовин, М.В. Семенов, В.В. Точилкин : Монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2006. – 7 с.
2. Ефимов В.А. Технология современной металлургии / В.А. Ефимов. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
3. Процессы непрерывной разливки: Монография / А.Н. Смирнов, А.А. Минаев, С.В. Момот, Ю.Н. Белобородов. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
4. Смирнов А.Н. Анализ поведения ШОС в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ и её влияние на образование прорывов / А.Н. Смирнов, Е.Н. Максаев, С.В. Куберский // Сб. науч. трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 38. – Алчевск: ДонГТУ, 2012 – 415 с.
5. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан // Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.

УДК 621.746.62:669.189

Д.В. Пащук[1], Г.Н. Филин[1], А.В. Федосов[2]

[1] – ПАО «МК «Азовсталь»,

[2] – ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ОТ СОСТОЯНИЯ ФОРСУНОК ЗВО МНЛЗ

Трещины являются одним из основных часто встречающихся дефектов непрерывнолитой заготовки. Их образование и развитие в процессе непрерывной разливки происходит в результате возникновения напряжений и деформаций, превышающих критические значения [1]. Причиной возникновения напряжений является наличие температурных градиентов, которые в свою очередь возникают в результа-

те неравномерного теплоотвода. При этом отдельный интерес представляют исследования влияния степени засорения форсунок на равномерность охлаждения поверхности заготовок.

В работе [2] проведен анализ влияния доли нерабочих форсунок на объём слябов, пораженных трещинами, для условий разливки на МНЛЗ №1 ОАО«Северсталь». В результате была построена усредняющая линия, выражающая прямо пропорциональную зависимость показателей качества заготовок от степени засорения форсунок. Однако, по мнению авторов данной статьи, экспериментальные точки рассматриваемой зависимости могут быть хорошо описаны S-образной кривой. Такая форма описания представляет несомненный интерес с позиции определения участка кривой, выражающей начало резкого ухудшения показателей качества заготовок.

Целью данной работы было установить и проанализировать связь между количеством засоренных форсунок ЗВО МНЛЗ и условиями формирования дефектов на поверхности непрерывнолитых заготовок.

В зоне вторичного охлаждения МНЛЗ участки поверхности непрерывнолитой заготовки подверженные активному воздействию факелов форсунок интенсивно охлаждаются, что приводит к локальному понижению температуры поверхности. По длине заготовки зоны повышенного теплоотвода чередуются с зонами низкого теплоотвода (не подверженных воздействию факелов форсунок), что приводит к возникновению температурных градиентов на поверхности непрерывнолитого слитка. Амплитуда колебаний температуры зависит от интенсивности теплоотвода, то есть от расхода воды на форсунки.

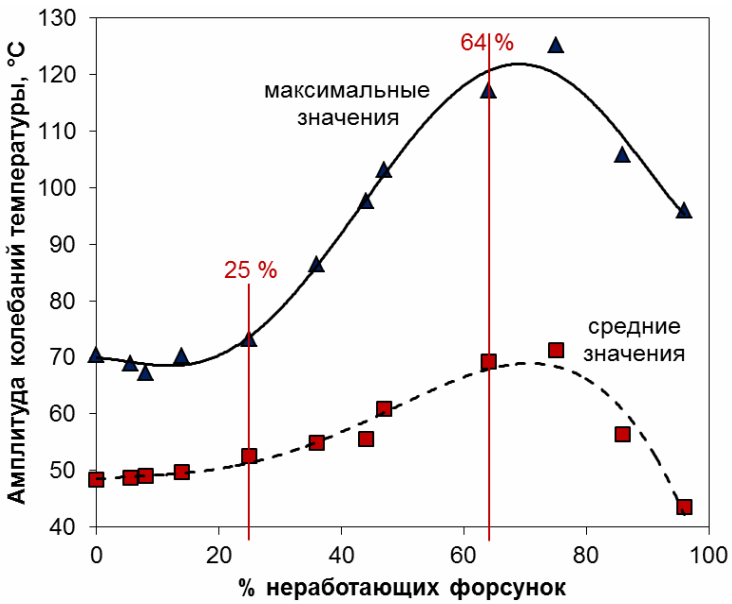


Рисунок – Зависимость амплитуды колебания температуры поверхности непрерывнолитой заготовки от доли засоренных форсунок ЗВО МНЛЗ

В результате засорения форсунок ЗВО происходит перераспределение воды среди тех, которые остались в работе, что приводит к увеличению локальных значений плотности орошения и увеличению амплитуды колебания температуры. Так, амплитуда колебаний температуры поверхности непрерывнолитых заготовок напрямую зависит от состояния форсунок ЗВО. Это позволяет применить величину амплитуды колебания температуры

в качестве связующего параметра для оценки влияния состояния системы ЗВО МНЛЗ на качество поверхности слябовых заготовок. По результатам математического моделирования была определена зависимость амплитуды колебания температуры от доли засоренных форсунок ЗВО МНЛЗ.

Анализ представленной зависимости позволяет определять пороговые значения ресурса работы ЗВО при условии засорения форсунок, превышение которых приводит к резкому ухудшению качества продукции. Также установлено, что величина критической доли форсунок вышедших из строя зависит от конструкционных параметров ЗВО МНЛЗ.

Список литературы

1. Теоретическое и экспериментальное исследование влияния параметров литья на растрескивание непрерывнолитого слитка / *А.А. Позняк, В.А. Берзинь, А.М. Кац [и др.]* //Изв. АН ЛатвССР, Сер. физ. и техн. наук.–1981. –№1. – С. 72-79.

2. *Мищенко И.О.* Управление уровнем дефектов поверхности и макроструктуры непрерывно-литых слябов МНЛЗ радиально-криволинейного типа: автореф. дис. канд. техн. наук / МИСиС. – М.: МИСиС, 2006. –26 с.

УДК 669.168: 669.26.0018

А.Ф. Петров, В.П. Пиптюк, В.Ф Мороз, С.В. Греков

Институт чёрной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

МОДЕЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ФЕРРОСПЛАВОВ

В последнее время в Украине и за рубежом значительный интерес уделяется более глубокому изучению свойств ферросплавов. Это связано, в первую очередь, с постоянно возрастающими требованиями к качественным характеристикам металлопродукции и изделий из нее, что в значительной степени зависит от свойств используемых легирующих добавок.

Учитывая ограниченность и спорность информации по отдельным характеристикам ферросплавов, особый интерес представляют расчётные методы определения их свойств.

В настоявшей работе авторы предлагают методику и критерии для прогнозной оценки свойств хромистых ферросплавов, которая была ранее разработана для описания строения и свойств металлических расплавов и твёрдых растворов [1]. Использование этой методики открыло новые возможности для полуэмпирического обобщения экспериментальных данных о свойствах расплавов и продуктов их кристаллизации. Эти возможности связаны с разработкой единой формы кодировки информации о составе расплавов, соединений и растворов в виде сочетания интегральных и парциальных модельных параметров межатомного взаимодействия.

Интегральными характеристиками структуры расплава является химический эквивалент его состава (Z^y) и структурный параметр (*d*). Учет влияния микронеоднородности расплавов на их свойства обеспечивается за счет определения степени отклонения химического эквивалента состава (ΔZ^y) и структурного параметра (Δd), для конкретных составов расплавов от вычисляемых для идеальных смесей исходных компонентов, т.е. $\Delta Z^y = Z^y_{спл} - \sum Z^y_i \cdot n_i$ и $\Delta d = d_{спл} - \sum d_i \cdot n_i$., где n_i – атомная доля компонента расплава.

По рассмотренной методике моделирования с использованием предлагаемых физико-химических критериев в интервале температур (100-1000°С) были описаны следующие характеристики различных марок феррохрома: удельная теплоёмкость $C_{уд}$, (КДж/(кг·К)), коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м·К)), энтальпия ΔН (кДж/кг), коэффициент температуропроводности α *10^2 (м^2/с). Ниже приведены уравнения для расчета этих свойств, записанные в терминах избыточных модельных параметров, определяемых исходя из химического состава сплавов.

$$C_{уд} = 0{,}113 + 1{,}04\Delta Z^y + 6{,}73\,\Delta d + 0{,}00015T \qquad r=0{,}96 \qquad (1)$$

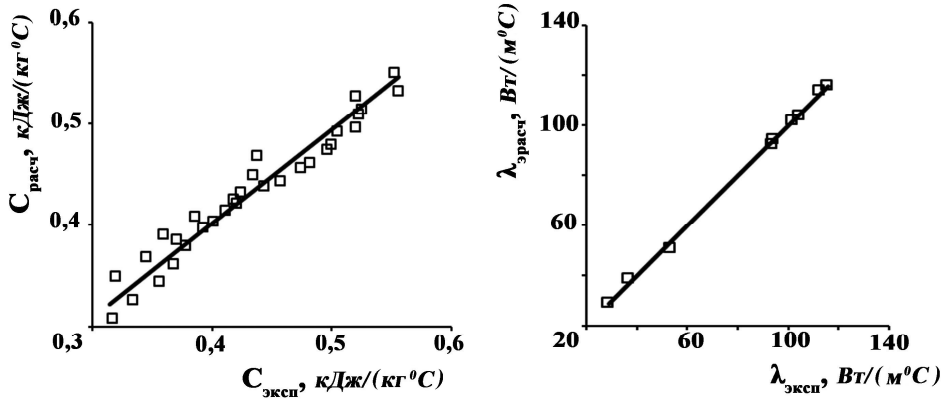
$$\lambda = 322{,}8 - 628{,}8\,\Delta Z^y - 3310{,}1\,\Delta d + 0{,}024T \qquad r=0{,}99 \qquad (2)$$

$$\alpha \cdot 10^2 = 9{,}27 - 18{,}58\,\Delta Z^y - 106\,\Delta d + 0{,}00016T \qquad r=0{,}99 \qquad (3)$$

$$\Delta H = 331{,}8 - 610{,}6\,\Delta Z^y - 2399{,}6\,\Delta d + 0{,}315T \qquad r=0{,}97 \qquad (4),$$

где Т - температура, ºС.

На рис. 1 сопоставлены значения рассчитанных по уравнениям (1 и 2) экспериментальных значений теплоёмкости и теплопроводности для различных групп ферросплавов хрома.



а б

Рисунок 1. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений теплоемкости (а) и теплопроводности (б) основных групп промышленных марок феррохрома.

Полученные результаты показали принципиальную возможность использования физико-химической модели металлических расплавов для прогнозирования важнейших теплофизических свойств основных групп как промышленных марок феррохрома, так и других типов ферросплавов.

Список литературы

1. *Приходько Э.В.* Физико-химические критерии для оценки степени микронеоднородности металлических расплавов / Э.В. Приходько, А.Ф. Петров // Металлофизика и новейшие технологии. – 1998. – Т. 20. – № 7. – С. 64-74.

УДК 669.15-194.2:621.365

С.Н. Подгорный

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ОПРОБОВАНИЕ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ ХРОМОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕДНОГО ХРОМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Выплавка легированных хромом сталей, в том числе и коррозионностойких, сегодня реализуется только за счет применения стандартных хромистых ферро-

сплавов, производство которых в Украине отсутствует. Использование импортных даже углеродистых ферросплавов обусловливает существенное повышение себестоимости металла, также как и применение дорогостоящих низкоуглеродистых марок феррохрома даже в небольших количествах при доводке химического состава стали.

Единственные разведанные запасы хромовых руд в Украине на Побужье сегодня практически не разрабатываются. Относительно низкое содержание в них хрома (27-30%) при высоком железе (Cr/Fe ≤ 0,9) и мелкофракционный гранулометрический состав после обогащения делает их непригодными для выплавки углеродистого феррохрома в рудовосстановительных печах.

По нашему мнению прямое легирование стали хромом с применением бедных концентратов или иных относительно высокохромистых пылевидных материалов может быть экономически целесообразно только в случае реализации при электроплавке стали углетермических процессов взамен силико- или алюмотермии.

Установлено, что в период плавления шихты в дуговых сталеплавильных печах создаются необходимые термодинамические и кинетические условия восстановления оксидов хрома углеродом с использованием тепла печных газов без дополнительных затрат электроэнергии.

С целью проверки возможности осуществления и оценки экономической эффективности прямого легирования хромом в условиях сталелитейного цеха ПАО «Армопром» г.Миргород в дуговой печи ДСП – 3М было проведено 2 балансовые плавки с применением Побужского хромового концентрата (ПХК) Липовеньковского месторождения и пыли газоочисток (ПГ) производства феррохрома Актюбинского завода ферросплавов. Оба материала имеют фракцию менее 400 мкм, что определило необходимость их брикетирования.

В качестве восстановителя использовали низкосернистый антрацит (S=0,65%, C=85-90%), а так же углеродистые материалы (до 30 % SiC).

Существенным отличием текущих плавок для товарного литья из конструкционных сталей марок 15ХЛ и 15Х1М1ФЛ (ГОСТ 978-83) от балансовых является скачивание до 50% шлака окислительного периода без восстановления из него хрома из-за необходимости получения стандартной по фосфору стали. Тем не менее, в этих плавках достигнут даже более высокий уровень использования хрома, особенно при использовании брикетов, где в качестве восстановителя использовали углеродистые материалы, содержащие до 30 % карбида кремния, это обусловлено не только участием кремния в восстановлении оксидов концентрата в процессе нагрева

и плавления шихты, но и блокирующим характером его влияния на окисление хрома в начале периода обезуглероживания, так как его концентрация значительно выше, чем в остальных плавках. Чему способствует и относительно высокая концентрация углерода. Первоочередное окисление кремния способствует разогреву ванны благодаря началу интенсивного обезуглероживания также опережает окисление хрома.

Кроме этого положительная роль углеродистых материалов содержащих SiC по сравнению с антрацитом проявляется в их гранулометрическом составе (максимальная фракция – 1мм, против – 5мм у антрацита) и в значительно меньшей концентрации серы (0,30 % против 0,65 % мас.). Первое обуславливает более развитую поверхность контакта концентрата с восстановителем, а второе – существенно облегчает десульфурацию стали, снижает количество шлака восстановительного периода и тем самым косвенно повышает сквозное извлечение хрома.

Показана принципиальная возможность прямого легирования конструкционных сталей хромом до 2 % мас. путем присадки в шихту электроплавки брикетов из бедных концентратов Побужского месторождения и альтернативных хромсодержащих материалов с восстановителем. Лучшие показатели усвоения хрома (η_{Cr} > 80 % отн.) достигаются при использовании в качестве восстановителя углеродистых материалов содержащих в своем составе SiC, при этом установлены наиболее оптимальные способы ввода хромсодержащих брикетов при выплавке конструкционных сталей типа 15ХЛ, 15Х1М1ФЛ в электродуговой сталеплавильной печи типа ДСП-3М.

УДК 669.184-669.14.018.8

С.Н.[1] Подгорный, А.Ю.[2]Садовник

[1] – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;

[2] – ОООО «Газогислородные технологии»

РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГКР

Технологическая революция в производстве коррозионностойких сталей произошла в начале 60-х годов прошлого столетия. Суть которой заключалась в пространственном разделении энергетического (плавление) и технологического (рафинирование) периодов плавки. Появляются новые процессы VOD и AOD, стремительно растет доля выпускаемых специальных сталей – особонизкоуглеродистых с повышенной коррозионной стойкостью.

Все это привело к разработке отечественного метода производства коррозионностойких сталей под названием процесс газокислородного рафинирования (ГКР). Первые опыты были проведены в Проблемной лаборатории Днепропетровского металлургического института в конце 1972г. на опытной установке вместимостью 1,0т, а в 1980г. правительством страны было принято решение о строительстве промышленного конвертера ГКР емкостью 60т на заводе «Днепроспецсталь», который находится в промышленной эксплуатации с июня 1987г.

Инновационная технология ГКР отличается от применяемых за рубежом как режимом продувки высоколегированного расплава, так и конструктивными особенностями агрегата для ее реализации. Продувка металла ведется через донные дутьевые устройства (фурмы) типа «труба в трубе» от исходных, не имеющих ограничений концентраций углерода до его содержания, равного 0,15-0,20%, чистым кислородом, который подается по центральным каналам фурм, и природным газом, подаваемым через периферийные щелевые каналы. Обезуглероживание до заданного конечного содержания углерода осуществляется продувкой аргонокислородной смесью с изменением по заданной программе соотношения содержаний кислорода и аргона в газовой смеси. Заключительная стадия продувки (восстановительный период) осуществляется чистым аргоном(азотом), который подается в оба канала донных дутьевых устройств.

Важнейшей конструктивной особенностью агрегата ГКР по сравнению с другими подобными агрегатами, в которых производится коррозионно-стойкая сталь, является перенос зоны дутьевых устройств в съемное днище конвертера, т.е. перенос наиболее разрушаемой околофурменной зоны футеровки в ту часть агрегата, которая может быть заменена в ходе его эксплуатации без разрушения остальной футеровки конвертера.

Другой важной особенностью конструкции агрегата ГКР является наличие в нем сталевыпускного отверстия, что позволяет отделить металл от шлака при выпуске плавки. Последнее позволяет достаточно успешно стабилизировать металл присадками в ковш ферротитана или модифицировать его другими легкоокисляющимися элементами.

Процесс выплавки коррозионно-стойкой стали в 5-т конвертере(за пущенном в 2002г.), на Миргородском арматурном заводе в свое время был продемонстрирован китайской делегации из Института планирования черной металлургии КНР (г. Пекин). Последующий ввод в промышленную эксплуатацию первого на территории КНР конвертера ГКР емкостью 60 т доказал технологическое и технико-экономическое пре-

восходство процесса ГКР над процессом АОД, используемым до этого на предприятиях КНР.

В настоящее время в Китае (провинции Сычуань, Шандон, Фуцзян) успешно работают три завода, имеющие в своем составе по три конвертера ГКР емкостью 60—80т, на которых были достигнуты следующие основные технико-экономические показатели производства коррозионно-стойкой стали методом ГКР: стойкость футеровки — 150-200 плавок, расход кремния на восстановление окислившегося хрома — 11,0-11,5 кг/т, расход извести — 50-65 кг/т, общее использование хрома на конвертерном переделе — 97-99%.

За все промышленную практику процесс ГКР доказал свою эффективность и конкурентоспособность. Продолжаются работы по его совершенствованию и внедрению. В настоящее время ведется строительство металлургического завода в городе Дандонг (КНР) в составе 3-х конвертеров ГКР емкостью по 10 т и 2-х электропечей с годовым объемом производства 100 тыс. т; на Украине на заводе Прессов в г. Днепропетровск строится конвертер емкостью 15 т, пуск которого планируется на второй квартал 2014 года.

Ю.С. Пройдак , Я.В. Мяновская , О.А. Гогенко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ОКОМКОВАНИЕ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ 2 СОРТА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ

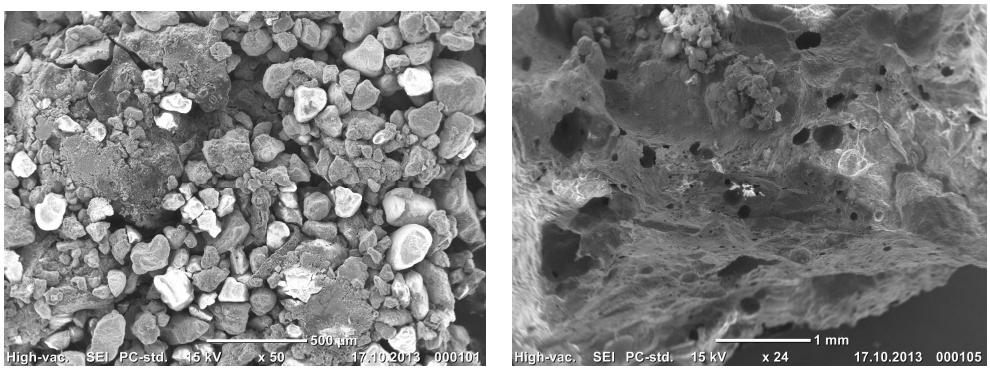
Анализ физико-химических свойств концентратов 2-го сорта обогащения марганцевых руд Орджоникидзевского ГОКа показывает, что характерная для них зернисто-песчаная структура не обеспечивает достаточно хорошую комкуемостьаглошихты, что не позволяет при проведении ее грануляции получить требуемый гранулометрический состав и прочностные показатели гранулируемого материала. В дальнейшем это приводит к снижению производительности агломашины. Однако, трудность их использования заключается в плохой слипаемости при окомковании и брикетировании.

Степень окомкованиямарганцевых концентратов 2-го сорта по обычной технологии при дополнительном увлажнении составляет 1,62, а прочность гранул менее 1 кг/на образец. Спекания такого материала практически не происходит, что ограничивает возможности их использования в шихте для агломерации. Это вызывает необходимость поиск связующего, который обеспечит комкуемость материала с зерни-

стой структурой. Нами установлено, что из исследуемых связующих ввод реагента торфгидроксидныйв количестве 5% повысил степень окомкования с 1,62 до 3,27.При окатывании на тарельчатом грануляторе с диаметром тарелки 3 м с частотой вращения 12 об/мин была достигнута производительность 1,0-1,2 т/ч с получением прочных окатышей. Гранулы были высушены в обычных условиях в течении 12 часов, что повысило их прочность и целостность при перегрузках.

В лабораторных условиях НМетАУ реагент торфгидроксидный испытан при получении агломерата из шихты, содержащей концентрат 2-го сорта обогащения марганцевой руды.Шихта для агломерации состояла: концентрат 2-го сорта -73,53%; коксик- 7,35%; РТГ (реагент торфгидроксидный)- 4,41%; возврат - 14,71%. Спекание производили при следующих условиях: высота слоя шихты - 300мм; разряжение - 1000 мм вод.ст.; время зажигания - 1,5 мин.; температура зажигания - 1220^0С; время спекания - 14,5 мин.; максимальная температура спекания - 1360^0С; усадка - 80 мм. Качество полученного агломерата: выход годного - 81,3%; прочность на удар - 3,0%; прочность на истирание - 1,5%; химический состав готового агломерата: $Mn_{общ}$- 28,72%, S- 0,211, C- 0,91%. При использовании в качестве связующего других материалов (ССБ, раствор муки, бентонит и др.) высоких показателей механической прочности и повышения содержания $Mn_{общ}$ не отмечено.

Морфологический анализ спеченной смеси и исходных компонентов проводили с помощью растрового электронного микроскопа NeoScope II (фирмы Jeol, Япония) в режиме высокого вакуума при ускоряющем напряжении 15 кВ. Режим наблюдения - secondaryelectronimage (вторичные электроны). Характерный вид структур смеси до спекания и после спекания показан на рисунке.



а б

Рисунок. Структура шихтовой смеси для агломерации до спекания (а) и после спекания (б): х24

Как видно из рис. 1 торф достаточно равномерно распределяется между зернами исходной шихтовой смеси и создает условия для окомкования мелкокристаллических фракций концентрата 2 сорта.

Согласно результатам фрактографического анализа выявлена тонкая структура излома спеченного образца. Структура поверхности разрушения характеризуется ямочныммикростроение. Характерный рельеф, образуемый совокупностью отдельных фасеток. Такое строение объясняется тем, что при достижении предельных состояний в локальных объемах на участках, представляющих собой препятствия для непрерывности деформации, зарождаются микропустоты. По мере увеличения напряжений микропустоты растут, сливаются, что приводит к полному разрушению с образованием на изломе углублений в виде ямок, соединенных между собой перемычками. Различный размер ямок свидетельствует о разнозернистости структуры, которая на прямую связана с различной дисперсностью исходных материалов смеси.

На “стенках” чашечного излома наблюдаются сильновытянутые лунки (рис. 2, г). Они являются результатом разрушения материала вдоль поверхности локализованного интенсивного сдвига. Светлая структурная составляющая смеси (торф) располагается по границам зерен (лунок) и выполняет связующую функцию между более крупными темносерыми структурными составляющими.В структуре поверхности излома обнаружена макро- и микропористость, которая также располагается по границам зерен (лунок). По результатам количественной металлографииминимальный размер пор составляет 20 мкм. Поры данного размера составляют 57% от всех пор.

Торф (светлая структурная составляющая связывает как крупные зерна (ямки) размером 300…450 мкм (рис. 2,б), так и мелкие зерна (лунки) размером 2,4…3,2 мкм (рис. 2, в). Выявлена зависимость толщины торфяных перемычек от размера соединяемых зерен, которая определяется следующим образом. При увеличении размера зерна в 100 раз (соотношение размера крупного зерна и мелкому (300мкм/3 мкм)) толщина связующей торфяной перемычки увеличивается в 10 раз (соотношение толщины торфяной перемычки вокруг крупного зерна к толщине торфяной перемычки вокруг мелкого зерна (32 мкм/3,2 мкм)).

Известно, что органическое вещество торфа состоит из растительных остатков, претерпевших различную степень разложения. Происхождение торфа связано с накоплением остатков отмершей растительности, надземные органы которой гумифицируются и минерализуются в поверхностном аэрируемом слое болота, называемом торфогенным горизонтом, почвенными беспозвоночными животными, бактериями и грибами. Подземные органы, находящиеся в анаэробной среде, консервируются в

ней и образуют структурную (волокнистую) часть торфа. Элементарный состав торфа: 50-60 % углерода, 5,0-6,5 % водорода, 30-40 % кислорода, 1-3 % азота, 0,1-1,5 % серы на горючую массу. В компонентном составе органической массы торфа содержание водорастворимых веществ составляет 1-5 %, битумов 2-10 %, легкогидролизуемых соединений 20-40 %, целлюлозы 4-10 %, гуминовых кислот 15-20%, лигнина 5-20 %.

Как показали проведенные исследования, на процесс окомкования положительное влияние оказывает реагент торфгидроксидный, что связано с капиллярным механизмом окомкования. Согласно капиллярной теории окомкования, при взаимодействии твердых частиц шихты и увлажняющей жидкости возникают капиллярные силы, стягивающие частицы. В щель между двумя частицами шихты, которые смачиваются водой, за счет капиллярного давления втягивается жидкость, вследствие чего и возникают силы, стягивающие эти частицы. Чем больше капиллярное давление, тем больше сила F, удерживающая частицы. Сила P, поднимающая жидкость в капилляре, приложена по его окружности и равна поверхностному натяжению жидкости σ, удерживающему ее мениск на определенной высоте. Отсюда следует, что основными факторами, определяющими процесс окомкования шихты, являются поверхностное натяжение увлажняющей жидкости, угол смачивания ею материала и размеры капилляра.

УДК 669.184

Е.В. Протопопов[1], Р.Ф. Калимуллин[1], А.Г. Чернятевич[2]

[1] – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк,

[2] – Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепропетровск

РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГАРНИСАЖНЫХ ФУРМ И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ШЛАКОВОГО ГАРНИСАЖА И ТОРКРЕТ-ПОКРЫТИЙ НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТЕРОВ

С привлечением известных моделей взаимодействия газовых струй с жидкостью и положений теории подобия разработана методика определения параметров дутьевых режимов ошлакования и факельного торкретирования футеровки конвертеров при многоструйной раздувке шлака газовыми и газопорошковыми струями.

Разработана и оптимизирована установка и методика физического моделирования процесса нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера путем раздувки шлака, в том числе при совмещении с факельным торкретированием.

С использованием физического моделирования впервые исследованы гидрогазодинамические особенности и установлена возможность реализации двух новых технологических процессов ремонта футеровки конвертеров посредством:

- совмещения операций раздувки шлака стационарными и перемещающимися наклонными газовыми струями и факельного торкретирования футеровки с подачей порошкообразных магнезиальных материалов в направленных на стены агрегата газопорошковых струях;
- газопорошковой раздувки конечного шлака с целью нанесения шлакового гарнисажа.

Впервые установлено, что наиболее рациональным приемом ошлакования футеровки конвертера является организация взаимодействия перемещающихся газовых струй с шлаковой ванной в режиме пробоя при образовании отраженных от днища обратных газовых потоков, формирующих обособленные эллипсовидные зоны.

Получены количественные зависимости для оценки переходных режимов взаимодействия газовых струй со шлаковым расплавом и параметров образующихся зон, пригодные к разработке наконечников гарнисажных фурм. Предложена методика оп-

ределения основных конструктивных параметров торкрет-гарнисажных фурм для заданных расходов технологических газов и торкрет-массы.

Численными исследованиями с использованием предложенных математических моделей для условий газовой и газопорошковой раздувки шлака установлено, что:

- подогрев азота перед соплами продувочной фурмы - один из самых эффективных способов повышения кинетической энергии струй, истекающих в шлак. Нагрев азота до 400°С на любом расстоянии от среза сопла обеспечивает увеличение мощности струи в два раза;
- нагрев газодисперсного потока в фурме за счет высокотемпературной среды в полости конвертера обеспечивает увеличение мощности истекающих газопорошковых струй в 2-4 раза.

Применительно к разработанной технологии ремонта футеровки конвертеров путем раздувки конечного шлака в комбинации с факельным торкретированием разработана модель процесса диссоциации карбонатной пыли в торкрет-факеле. Результаты расчетов свидетельствуют о возможности замены обожженной огнеупорной составляющей торкрет-массы пылью доломитизированного известняка, сырого доломита и магнезита. Проведено исследование закономерностей формирования торкрет-факелов, содержащих карбонатные материалы, с выделением зон: физического и теплового расширения пылегазовой струи, основной и пристеночной зоны торкрет-факела.

Разработаны и переданы к внедрению для горячего ремонта футеровки 350-т конвертеров ОАО « ЕВРАЗ ЗСМК»: технологические рекомендации и рабочие чертежи новых конструкций газоохлаждаемых торкрет-гарнисажной и газопорошковой фурм, обеспечивающих совместное нанесение шлакового гарнисажа и факельное торкретирование футеровки и газовую и газопорошковую раздувку шлака.

УДК 669.184.125:66.044.24

Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, С.В. Фейлер, А.Н. Калиногорский
Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ФУТЕРОВКУ КОНВЕРТЕРОВ[1]

Тепловая работа конвертеров, их производительность, качество и себестоимость стали во многом определяются стойкостью огнеупорной футеровки. Сегодня одним из общепризнанных направлений повышения стойкости футеровки является разработка технологических способов нанесения шлакового гарнисажа, различных огнеупорных покрытий и создание дутьевых устройств для их реализации.

В практике торкретирования хорошо известен положительный эффект применения закрученных газовых струй [1]. На основании проведенного объема низкотемпературного моделирования и анализа теории вихревых течений выполнена постановка задачи для осуществления «горячих» ремонтов футеровки конвертера. Комбинированное дутьевое устройство предусматривает использование нижней головки фурмы, обеспечивающей раздувку шлака с использованием вихревых течений и конструкцию торкрет-сопел, расположенных по стволу при подаче торкрет-массы закрученными газовыми потоками.

В данной постановке течение на выходе из сопел фурмы качественно отличается в зависимости от степени закрутки потока. При слабо закрученном потоке газа струя ведет себя как обычная незакрученная, которая равномерно раздувает капли шлака по окружности. Во втором предельном случае в центральной области истекающей струи образуется зона возвратного течения, которое в некоторых случаях может даже проникать внутрь сопел фурмы. При больших скоростях, соответствующих реальному случаю, картина течения качественно не меняется. При взаимодействии с поверхностью жидкости в центральной области может возникать приток шлака в центр и возникает режим течения, напоминающий торнадо. Отсос газа создает повышенное разрежение в центре, что увеличивает высоту поднятия жидкости в центре перед фурмой. При приближении к днищу конвертера струя оттесняет жидкость на периферию, и картина течения напоминает обычное взаимодействие струи с жидкостью.

[1] Работа выполнена в СибГИУ по государственному заданию Минобрнауки России, проект 2556

Для данных условий угол раскрытия струи зависит от степени закрутки потока, причем с увеличением последнего струя раскрывается сильнее. Уровень закрутки потока можно менять во время операции при помощи вдувания дополнительного потока газа в зону закручивающего аппарата.

Поток кинетической энергии струи, поступающий в зону взаимодействия, в основном затрачивается на образование новой поверхности и преодоление силы трения при деформации жидкости. В районе взаимодействия струи газа и жидкого шлака наблюдаются мощные пульсации скорости, обусловленные сдвиговыми течениями. На основании предложенной упрощенной модели получено уравнение в критериальной форме, позволяющее оценить средний размер отрывающихся капель:

$$\frac{D}{d} = 6\tau^{\frac{1}{3}}\left(We^{-1} + Re^{-1}\frac{\mu}{\mu_г}\right),$$

где D – диаметр капель шлака, м; We – число Вебера; Re – критерий Рейнольдса; d – эффективный диаметр столба шлака, м; $\mu_г$ – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с; μ – коэффициент динамической вязкости жидкой фазы, Па·с; $\bar{\tau}$ – отношение весовых расходов газа и жидкой фазы;

При этом крупные частицы шлака приобретают начальный импульс и до стенки движутся практически по инерции, испытывая практически только сопротивление среды. Частицы среднего размера после выхода в область умеренных скоростей движутся, взаимодействуя с потоком газа, и как бы дрейфуют к стенке конвертера.

На основании предложенных оценок создается предварительное описание процесса, которое позволяет в первом приближении выбрать конструкцию фурмы.

Список литературы

1. *Багрянцев В.И.* Динамика частиц при торкретировании закрученным потоком / В.И. Багрянцев, А.Л. Николаев, З.Я. Павленко // Огнеупоры. – 1988. – № 6. – С. 48-51.

УДК 669.168 Р 62

Ю.Е. Романенко, П.П. Лазаревский, И.Е. Ходосов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ, ХРОМИСТЫХ СПЛАВОВ И МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА

Дефицит коксующихся углей, их недостаточное качество и высокая стоимость коксования ставит вопрос об экономии кокса в металлургическом производстве. Одним из вариантов расширения сортамента углеродистых восстановителей является использование ископаемых углей без предварительной термической обработки. Кроме того ископаемые угли возможно использовать при получении внедоменного железа, когда продукты термического разложения углей служат восстановителями оксидов железных руд.

Для разработки рекомендаций по применению длиннопламенных и бурых углей в качестве восстановителей при производстве сплавов на основе марганца и хрома, а также в процессе прямого получения железа в лабораторных условиях проведены исследования влияния свойств углей на степень восстановления элементов из руд. Эксперименты проводили с использованием металлургического кокса, который частично заменяли длиннопламенным и бурым углями в различных соотношениях

Термогравиметрическим методом определена степень восстановления элементов из оксидов марганцевой (%: 36,98 $Mn_{общ}$; 10,78 $Fe_{общ}$; 1,25 Al_2O_3; 14,5 SiO_2; 2,03 CaO, 0,11 P_2O_5), хромовой (%: 52,25 Cr_2O_3; 2,2 – FeO; 7,15 – Al_2O_3; 8,51 – SiO_2;21,0 – MgO; 2,03 – CaO, 0,44 – P_2O_5) и железной (%: $Fe_{общ}$ 64,46; SiO_2 14,24; Al_2O_3 1,98; P_2O_5 0,036; S 0,011) руды.

Установлено, что в случае восстановления элементов из оксидов марганцевой руды наиболее высокое значение степени восстановления достигается при замене 30 % кокса длиннопламенным углем. В присутствии длиннопламенного угля в восстановительной смеси значение степени восстановления составляет 98 %, против 82 % при использовании только кокса. Последующий химический анализ продуктов восстановления, подтвердил, что содержание марганца в пробах, восстановленных смесью с длиннопламенным и бурым углем выше, чем при использовании только кокса.

Результаты исследования степени восстановления элементов хромовой руды различными восстановительными смесями отмечают хорошие восстановительные свойства смесей кокса с длиннопламенным углем, особенно в области высоких температур. Образец, в котором присутствует смесь из 70 % кокса и 30 % длиннопламенного угля при температуре 1973 К имеет самое высокое значение степени восстановления. Из результатов рентгенофазового анализа следует, что основная часть продуктов восстановления представлена карбидами хрома Cr_7C_3 и Cr_3C_2 при этом металлическая часть FeCr и $Cr_{(мет)}$ отсутствует. Химический анализ показал, что содержание карбида хрома в продуктах восстановления элементов хромовой руды смесью кокса с длиннопламенным углем выше, чем при использовании смеси кокса с бурым углем.

Установлено, что частичная замена кокса длиннопламенными и бурыми углями приводит к повышению степени восстановления железа из оксидов железной руды и получению металлизированных продуктов из железорудного сырья.

Таким образом, на основании комплекса исследований установлена целесообразность использования длиннопламенных и бурых углей в металлургическом производстве марганцевых и хромистых сплавов, а также в процессе получения внедоменного железа.

Список литературы:

1. Воробьев, В. П. Углеродистые восстановители ферросплавного производства. Альтернативные решения / В. П. Воробьев. А. Д. Голунов, А. В. Игнатьев // Сталь. – 2008. – № 8. – С. 67.

2. Фазовые и вещевые превращения при углеродотермическом восстановлении ведущих элементов хромовой руды / С.М. Григорьев [и др.]// Изв. вузов. Черная металлургия. – 2000. - №3. – с. 29 – 31.

3. Твердофазное восстановление хрома углеродом / О.И. Островский [и др.]// Изв. вузов. Черная металлургия – 1995. - №1. –с.1 – 8.

4. Угли СССР: Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / И.А. Ульянов [и др.] – М.: Недра, 1975. – 308 с.

УДК 669.18

Я.А. Романчук

Донбасский государственный технический университет

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

Одним из основных блоков АКП является система непрерывного перемешивания жидкой стали инертным газом через продувочные элементы, установленные в днище ковша, по ходу всех технологических операций доводки стали.

При доводке металла в сталеразливочных ковшах большой емкости продувка инертным газом обычно ведется через несколько продувочных пробок, как минимум две. При этом продувочный газ приводит в движение параллельные слои жидкого металла, создавая условия для лучшего перемешивания не только металла и шлака, но и для расплавления присаживаемых материалов, раскислителей и модификаторов, усреднения металла по температуре [1].

С учетом исходных параметров плавки при доводке металла в сталеразливочном ковше уже сейчас используются различные технологические приемы продувки металла инертным газом, в том числе с регулированием расхода инертного газа через одну или две продувочные пробки, добиваясь ускорения в достижении однородности обрабатываемого металла по химическому составу и температуре [2]. А реализация технологии с импульсным режимом подачи инертного газа позволила получить следующие преимущества [3]:

- снижение расхода электроэнергии при обработке металла на АКП;
- снижение расхода инертного газа;
- сокращение продолжительности обработки;
- снижение загрязненности стали неметаллическими включениями;
- увеличение степени десульфурации металла в ковше на 5% (отн.) при снижении конечной концентрации серы на 8% (отн.).

Основной задачей исследования является установление оптимальных режимов перемешивания и усреднения расплава при обработке его на АКП с использованием пульсирующей продувки инертным газом.

Физическое моделирование процесса пульсирующей продувки металла инертным газом выполнено на прозрачной (из органического стекла) модели сталеразливочного ковша с вводом в дистиллированную воду специального жидкого реагента в виде раствора туши и хлорида натрия. Это позволило визуализировать, за-

фиксировать и с помощью киносъемки и описать механизм процесса перемешивания и определить момент завершения процесса массообмена одновременно.

Перемешивание расплава в процессе обработки его на АКП при пульсирующей продувке позволяет решать следующие проблемы:

- Предотвращение возникновения застойных зон в ванне жидкого металла в ковше;

- Достижение качественного перемешивания металла в ковше, что способствует лучшему усреднению металла по химическому составу и температуре;

- Достижение экономии аргона для продувки металла в ковше.

Из экспериментов в данной работе выяснено, что пульсирующая асинхронная продувка стали аргоном дает эффективность более лучшего усреднения, чем при стандартной продувке.

При пульсирующей продувке расплава через две продувочные пробки наблюдалось интенсивное перемешивание с распространением потоков вверх, на дне и по бокам модели, что способствует лучшему тепло-массообмену.

Список литературы

1.Смирнов А.Н. Информационный портал о черной и цветной металлурги / А.Н. Смирнов // Украинская ассоциация сталеплавильщиков. – 2011.
Режим доступа к журн.: http://uas.su/books/2011/minizavod/34/razdel34.php

2. Явойский А.В. К вопросу о пульсирующем дутье в сталеплавильных процессах: учеб.пособие / А.В. Явойский, П.С. Харлашин, И.А. Шевцов. – НИТУ «МИСиС», 2011. – С. 181-190.

3. Опыт внедрения технологии поочередной импульсной продувки металла в сталеразливочных ковшах на Белорусском металлургическом заводе / Шумахер Э.Э. [и др.] // Металлург. – 2012. – № 8. – С. 39-42.

УДК 621

Салей А.А, Сопина Н.П.

Государственное высшее научное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОКСИДА БАРИЯ НА ТВЕРДЕНИЕ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

На сегодняшний день среди оксидов щелочноземельных металлов на твердение доменных гранулированных шлаков (ДГШ) наиболее полно изучено активизирующее действие оксида и гидроксида кальция.

Во многих литературных источниках упоминается об использовании в качестве активатора твердения ДГШ кроме щелочей и оксида кальция других соединений, дающих в воде щелочную среду. Однако на сегодняшний день применение барийсодержащих добавок для активизации твердения ДГШ остается малоизученным.

Поэтому целью данной исследовательской работы стало исследование возможности получения вяжущего материала на основе ДГШ с использованием в качестве активатора твердения насыщенного раствора гидроксида бария (баритовой воды).

Затворение доменных гранулированных шлаков дистиллированной и баритовой водой показало, что схватывание шлакового теста полученного с использованием баритовой воды происходит быстрее, чем бездобавочного. Замена дистиллированной воды на баритовую также способствовало повышению ранней и марочной прочности шлаковых цементов.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования в качестве активатора твердения доменных гранулированных шлаков баритовой воды. К тому же наличие в составе шлакового вяжущего гидроксида бария будет способствовать повышению его сульфато- и коррозионной стойкости при сохранении основных строительно-технических характеристик. Использование в качестве основного сырьевого материала шлаков обеспечит высокую степень утилизации отходов доменного производства, экономию ресурсов и топлива.

УДК 669.184.244

К.О. Сергеєва

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

м. Київ

ЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ З ВВЕДЕННЯМ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

В умовах інтенсивної продувки ванни збільшується значення керування шлакоутворенням для того, щоб забезпечити максимальну десульфуруючу та дефосфоруючу здатність шлаку. Важливою задачею являється розподілення сипких матеріалів, що визначені статичним розрахунком шихти, по добавкам. Основна мета розподілення – забезпечити хід процесу, що призводить до максимального видалення шкідливих домішок.

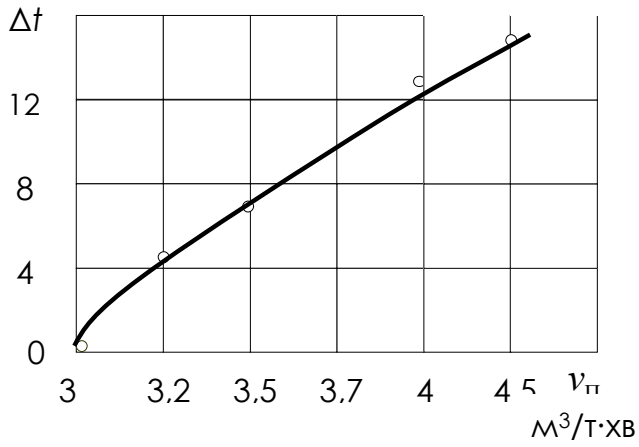


Рис. 1. Залежність приросту температури Δt за рахунок допалення монооксиду вуглецю в порожнині конвертера від середнього значення інтенсивності продувки $v_п$, м^3/(т · хв).

Масова частка сірки у металі є одним з основних параметрів, що визначає його якість. При використанні переробних чавунів в кисневих конвертерах умови шлакоутворення такі, що проблеми видалення фосфору не виникає.

Видалення сірки − одна з самих головних та важких технологічних задач киснево-конвертерного рафінування. Особливо ускладнюється вона при великих частках сірки в чавуні та шихтових матеріалах. Десульфурацію металу обумовлюють такі фактори як основність шлаку та його рідкорухливість, а також режим дуття та температурний режим продувки.

Знесіркування є дифузійним процесом, який суттєво залежить від динаміки формування шлаку. Частка сірки у вапні, якість її відпалу та фракційний склад мають вплив на десульфурацію [1].

Вплив масової частки вапна, вапняку, плавикового шпату на температуру металу досліджений на цей час достатньо повно [2].

Нами досліджений вплив на температуру металу моменту введення сипких матеріалів $\tau_в/\tau_{прод}$ (рис. 2). Тут $\tau_в$ – момент введення вапна, хв.; $\tau_{прод}$ – тривалість продувки, хв.

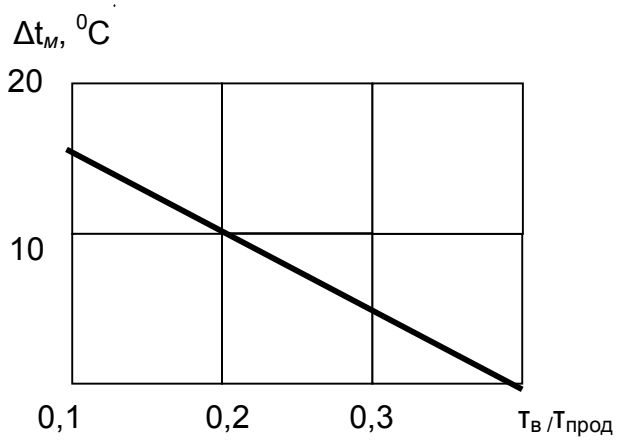


Рис. 2. Залежність зміни температури металу в кінці продувки від моменту введення у ванну вапна

Чим пізніше вводять у ванну вапно, тим менше проявляється його охолоджуюча дія. Це пов'язано з тим, що добавки вапна, які подаються пізніше у нагріту ванну, повністю беруть участь в шлакоутворенні.

Такий самий характер залежності спостерігається при дослідженні впливу на температуру ванни моменту введення вапняку [3].

Список літератури

1. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов / М.Я. Меджибожский – К. – Донецк: Вища школа, 1986. – 280 с.

2. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой / В.С Богушевский, Л.Ф. Литвинов, Н.А. Рюмшин, В.В. Сорокин. – К.: НПК "Киевский институт автоматики", 1998. – 304 с.

3. Богушевський В.С. Контроль температурного режиму конвертерної плавки / В.С. Богушевський, К.О. Сергеєва // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 6. – С. 75-80.

УДК 669.147

Е.В. Синегін[1], Б.М. Бойченко[1], В.Г. Герасименко[1],Л.С. Молчанов[1], Д.О. Мусунов[2]

[1] – Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

[2] – «ІНТЕРПАЙП СТАЛЬ»

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОРОШКОВОГО ІНОКУЛЯТОРУ В РІДКІЙ ФАЗІ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

Безперервне розливання сталі є фінішною операцією, у результаті якої отримують товарний продукт – заготовку, розміри та властивості якої відповідають готовій продукції. Тому, на сучасному етапі розвитку вітчизняної металургії велику увагу приділяють методам захисту сталі від вторинного окислення та технологіям обробки сталі у передкристалізаційний період (електромагнітне перемішування, «м'яке» обтиснення, обробка інокуляторами та ін.).

З цього погляду перспективною технологією є вдування у рідку сталь інокулятора (залізного порошку, легуючих або модифікуючих добавок) у струмені інертного газу через порожнистий стопор проміжного ковша, що чинить комплексний ефект на технологію розливання, сприяючи захисту струменя від вторинного окислення та видаленню газів і неметалевих включень у шлакову фазу проміжного ковша та подрібнення макроструктури заготовки при об'ємній кристалізації, що ініційована інокуляторами. Також потрапляння бульбашок аргону у кристалізатор зменшується поглиблення перегрітого струменя металу у рідку фазу заготовки та зменшення заростання заглибного стакану при розливанні нержавіючої сталі [1].

Зручним інструментом для вивчення гідродинамічних аспектів взаємодії газопорошкового струменя з рідиною є фізичне моделювання на водяних моделях. Для цього авторами роботи використана прозора модель МБЛЗ масштабом 1:2, для якої у якості характерних критеріїв були обрані число Фруда та Архімеда, а також безрозмірні імпульс струменя та об'ємна витрата газу [2].

В ході статистичного аналізу експериментальних даних було виявлено, що безрозмірний імпульс має дві автомодельні по відношенню до числа Фруда області. Перша автомодельна область $\mathrm{I} = \dfrac{i}{\rho_p \cdot g \cdot h_p} < 10^{-4}$ (i – імпульс газового струменя, ρ_p – густина рідини, g – прискорення вільного падіння, h_p – рівень рідини у промковші) відповідає випадку високого рівня рідини у промковші за низької інтенсивності продувки. У цьому випадку інерційні сили потоку рідини, що витікає з промковшу, перева-

жають над імпульсом газового струменя. Число Фруда у цьому випадку залежить лише від висоти стопора, при збільшенні якої цей вплив посилюється. Друга автомодельна область $\mathrm{I} = \frac{i}{\rho_p \cdot g \cdot h_p} > 5 \cdot 10^{-2}$, навпаки, спостерігається при високій інтенсивності продувки за низького напору рідини, тобто, коли імпульс газового струменя переважає над інерційними силами потоку рідини, яка витікає з напірної ємності. У цьому разі положення стопору настільки низьке, що струмінь газу практично повністю блокує витікання рідини.

Характер розподілу порошку у рідкій фазі заготовки не змінюється за різних режимів продувки і має однаковий циркуляційний контур, який у верхніх шарах рідини співпадає з циркуляційним контуром рідини. У нижніх шарах рідини, де швидкості потоків уповільнюються, порошок із густиною, що вище за густину води, починає осаджуватися. Водночас щільність седиментації у поперечному перетині заготовки дещо нерівномірна. Максимум її спостерігається в осьовій частині заготовки, периферійні ділянки перетину заготовки меншою мірою насичуються порошком.

Експериментально встановлено зменшення на 20-30% глибини проникнення потоку рідини, що витікає з промковшу у кристалізатор, при інжекції газо-порошкового струменя у заглибний стакан промковшу.

Перелік посилань

1. Лейтес А.В.Защита стали в процессе непрерывной разливки / А.В. Лейтес. – М. : Металлургия, 1984. – 200 с.

2. Расчёт параметров физического моделирования процессов распределения инокуляторов в кристаллизаторе МНЛЗ / Е.В. Синегин, Б.М. Бойченко, В.Г. Герасименко [и др.]. – Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – №7. – С. 127-130.

УДК 669.147

Е.В. Синегин[1], Б.М. Бойченко[1], В.Г. Герасименко[1],Л.С. Молчанов[1], Д.А. Мусунов[2]

[1] – Национальная металлургическая академия Украины

[2] – «ИНТЕРПАЙП СТАЛЬ», Днепропетровск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ИНЖЕКЦИИ ПОРОШКОВОГО ИНОКУЛЯТОРА В ЖИДКУЮ ФАЗУ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Непрерывная разливка стали, как неотъемлемое звено современного сталеплавильного производства, по главным показателям (производительности и качеству готовой продукции) намного опережает технологии разливки в слитки [1]. Однако, как и всем крупным слиткам, непрерывнолитой заготовке свойственно образование химической и структурной неоднородности, которая возникает в процессе кристаллизации жидкого металлического расплава. Скорость затвердевания заготовки, определяющая производительность машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), также достигла своих границ и определяется теперь внутренним тепловым сопротивлением заготовки [2].

Объёмная кристаллизация металлического расплава, инициированная присутствием в объёме металла зародышей твёрдой фазы, химический состав которой схож с составом разливаемой стали, позволяет эффективно решить поставленные задачи. При этом эффективность процесса в значительной мере будет зависеть от способа и ре-жимов ввода. Ввод железного порошка непосредственно в промковш является нерациональным поскольку значительная часть порошка будет плавиться ещё до попадания в кристаллизатор, не оказывая тем самым положительного эффекта на процесс структурообразования. Ввод порошка в кристаллизатор, так же как и в открытую струю металла на участке промковш-кристаллизатор, является нетехнологичным и требует применения специального оборудования [2].

Компромиссным решением является известный способ ввода порошка непосредственно в полость погружного стакана промежуточного ковша через полый стопор-инжектор в струе инертного газа. Предложенный способ не требует установки специального высокотехнологичного оборудования помимо бункера-питателя.

Основными технологическими параметрами предложенного режима ввода инокулятора являются его гранулометрический состав, и параметры газопорошковой струи, взаимодействующей с металлическим расплавом. Гранулометрический состав порошка необходимо выбирать таким образом, чтобы по окончании плавления мелких фракций порошка в объёме расплава оставалось достаточно высокая кон-

центрация способных к росту центров кристаллизации. Наиболее удобным методом выбора рационального гранулометрического состава порошка является математическое моделирование, выполненное авторами в работе [3].

Однако выбранный по результатам математического моделирования гранулометрический состав порошка не гарантирует внедрения частички порошка в объём расплава. Для внедрения частичка определённой массы должна иметь скорость достаточную для преодоления сил поверхностного натяжения и лобового сопротивления. Большее в сравнение с жидкой сталью значение плотности частички железного порошка способствует её внедрению в металлический расплав.

Расчёт условий внедрения частиц порошка вдуваемых в металл в струе инертного газа, выполненный по методике [4] позволил установить предельно низкую скорость необходимую для внедрения частички железного порошка в жидкий металл различного химического состава. В случае вдувания порошка в жидкий металл со скоростью 8 м/с, что соответствует расходу газа-носителя 13,8 л/мин·т стали, в металл будут внедряться лишь частицы диаметром не менее 300 мкм. Остальные же будут увлекаться всплывающими пузырями газа в объём металла и плавиться, не достигая поверхности металла в промковше, снижая перегрев стали.

Список литературы

1 Steel Statistical Yearbook 2012 / Worldsteel Association. Economics Committee. – Brussels, 2012. – 112 p.

2. *Затуловский С.С.* Суспензионная разливка / С.С. Затуловский. – К. : «Наукова думка», 1981.– 260 с.

3. Визначення методами математичного моделювання параметрів плавкого інокулятора при безперервному розливанні сталі низьковуглецевих марок / Є.В. Синегін, Б.М. Бойченко, В.Г. Герасименко, Л.С. Молчанов // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. – 2014. – №16. – С. 33-39.

4. *Сидоренко М.Ф.* Теория и практика продувки металла порошками / М.Ф. Сидоренко. – М. : Металлургия, 1978. – 232 с.

УДК 669.162.262: 669.162.12

А.С. Скачко, Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Д.А. Степаненко

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

ГЕНЕРАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ДОМЕННОЙ ШИХТЫ С ПОЗИЦИИ УЧЕТА ЕЕ БОГАТСТВА И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ ПУСТОЙ ПОРОДЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рациональное развитие процесса шлакообразования в доменной печи и формирование чугуна требуемого состава в значительной степени предопределяется минералогическим составом шихтовых материалов и образующихся их них расплавов.

Опыт изучения минералогии конечных доменных шлаков показал, что свойства шлаковых расплавов являются следствием не только их состава и термодинамических условий, но и определенной структуры, которую отражает минералогический состав [1]. Так, наибольшие значения температуры ликвидус имеют те шлаки, у которых первичная кристаллическая фаза представлена минералом ларнит. Поскольку минерал ларнит является самим тугоплавким минералом доменных шлаков, то наличие в расплаве соответствующих ионных групп с характерными связями определяют теплофизические свойства шлака, о чем свидетельствуют установленная связь энтальпии доменных шлаков и процентного содержания в них минерала ларнита (рис.1).

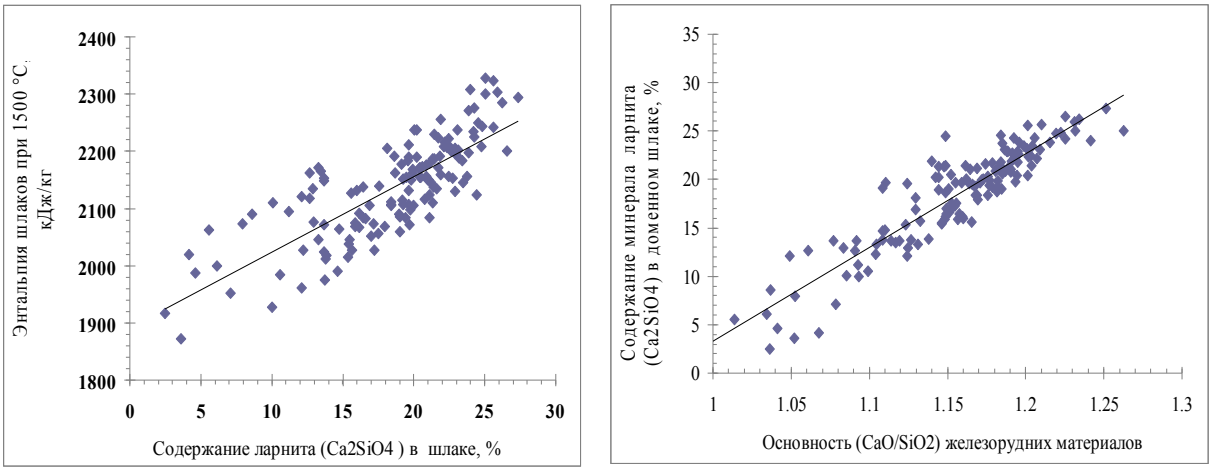


Рисунок 1 – Связь компонентов пустой породы шихты с минералогическим составом и свойствами доменных шлаков

Конечный доменный шлак является следствием процессов ошлакования пустой породы железорудных материалов, относящейся к группе силикатов, в основе которых лежат сложные связи кремнекислородных тетраэдров, составляющих структурную основу большинства минералов железорудных материалов и доменных шлаков.

В результате наследственных связей компонентов пустой породы шихты с минералогическим составом доменных шлаков (рис.1) разработан комплексный показатель доменной шихты, аналитическая зависимость которого для условий работы ДП№9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» [2] следующая:

$$K_{Ш} = (\frac{Fe_{об}}{SiO_2})^{0,2} \cdot (\frac{CaO}{SiO_2})^{0.18} (\frac{Al_2O_3}{SiO_2})^{0,2} \cdot (\frac{MgO}{SiO_2})^{0,1} \cdot (\frac{R_2O}{CaO})^{0.1} (\frac{T_{кт}}{T_{нф}})^{0,1} \cdot (\frac{FeO_{пш}}{-\Delta e / \rho})^{0,12}$$

Основными составляющими показателя Кш являются: богатство шихты $Fe_{об} / SiO_2$, основность CaO / SiO_2, магнезиальный MgO / SiO_2, глиноземный Al_2O_3 / SiO_2 и щелочной модули R_2O / CaO, а также параметры первичного оксидного расплава $T_{кт} / T_{нф}$ и $FeO_{пр} /(-\Delta e / \rho)$, где $T_{нф}$ - температура фильтрации жидких фаз через коксовую насадку, $T_{кт}$ - температура капельного течения расплава, $FeO_{пш}$ - содержание FeO в первичном шлаке, Δe и ρ - химический эквивалент состава шихты и показатель стехиометрии [2].

Комплексный показатель доменной шихты Кш разработан для решения задач прогнозирования конечных продуктов доменной плавки и выбора состава доменной шихты, обеспечивающего выплавку чугуна требуемого качества.

Список литературы

1. Влияние микро- и макрогетерогенности на свойства доменных шлаков / Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Д.А. Степаненко [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 5. – С. 12-15.

2. Физико-химические критерии и модели для оценки влияния шихтовых и технологических условий на распределение элементов шихты между чугуном и шлаком / Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Д.А. Степаненко, А.С. Скачко // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. – Дніпропетровськ: НметАУ. – 2013. – №16. – С. 14-20.

Ю.И. Сокур, Л.В. Камкина, Р.В. Анкудинов

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ “МЕТАЛЛ-ШЛАК-ВОДОРОД”

Водород ухудшает эксплуатационные свойства сталей и сплавов. Основным источником водорода в металле является печная атмосфера, и передача водорода из газовой фазы в металлический расплав происходит в основном через шлак, состав и свойства которого определяют качество конечной продукции.

Вопросами взаимодействия газов со шлаками особое внимание уделено в работах В.И. Явойского. Рассматривая закономерности распределения водорода между металлом и шлаком, он отметил, что параллельно протекает ряд аналогичных процессов, в частности, перераспределение кислорода, марганца, железа и т. п. Необходим учёт величин распределения компонентов между фазами, что затрудняет выбор того или иного механизма процесса распределения как водорода, так и других компонентов. Особое внимание уделяется моделированию шлаковых расплавов и прогнозированию влияния состава шлака на степень растворимости в нем водорода и паров воды.

Лимитирующим этапом в многостадийном переходе водорода и паров воды из газовой фазы в металлическую является массоперенос их в толще шлакового покрова ванн. Это обстоятельство существенно уменьшает скорость их поступления к металлу по сравнению с непосредственным взаимодействием обнаженного металла с газовой фазой, что и позволяет в значительной мере управлять процессом. Известные исследования в этом направлении ставили своей задачей определение водородопроницаемости шлаков в зависимости от их состава и температуры. Для оценки сорбционных свойств синтетических шлаков для внепечной обработки сталей или для электрошлакового переплава, необходимы сведения о пределах растворимости в них водорода и других газов.

Исследование растворимости водорода в металлургических расплавах не может быть ограниченно только сталеплавильными системами. Использование природного газа в доменной плавке делает актуальным исследование особенностей распределения водорода на различных стадиях формирования чугуна. Вспениваемость газосодержащих доменных шлаков в значительной мере влияет на газодинамику процесса плавки, а вместе с тем и на производительность доменных печей.

Влияние водорода на механические свойства ряда сталей проявляется в виде

водородного охрупчивания. Для сталей с мартенситной структурой это влияние является наиболее сильным, меньше проявляется для сталей с термодинамически устойчивой структурой, состоящей из зернистого и тонкопластинчатого перлита. Аустенитные стали практически не подвержены водородному охрупчиванию.

С проявлением водородного охрупчивания сталей связан и их специфический дефект, называемый флокенами. Возникновение флокенов определяют внутренние напряжения, связанные с деформацией и охлаждением металла, и напряжение, создаваемое присутствующим в металле водородом.

Основными водородосодержащими газами в пирометаллургических процессах являются пары воды и водород. Различные углеводороды, а также аммиак термически неустойчивы и в печных атмосферах сталеплавильных агрегатов практически не обнаруживаются. Исследования процессов межфазного распределения водорода в металлургических системах ограничиваются распределением водяных паров и водорода.

Для физико-химического моделирования закономерностей ионообменных процессов в системе “металл-шлак-газ” использована оценка модельных параметров структуры шлаковых систем на основе кооперативного характера их межатомного взаимодействия. Систематизированы существующие экспериментальные данные о растворимости водорода в шлаковых расплавах систем CaO-Al_2O_3-SiO_2, CaO-MgO-SiO_2, CaO-SiO_2-FeO-Fe_2O_3.

Анализ большого количества экспериментальных данных показывает, что шлак в сравнении с металлом обычно относительно пересыщен водородом. Это свидетельствует о том, что шлак действительно является защитной средой и передача водорода через него металлу связана с необходимостью преодоления диффундирующими ионами энергетического барьера на межфазной границе металл-шлак

Растворение водяных паров приходятся на область шлаков с некоторым избытком кислорода, а растворение водорода - на область шлаков с дефицитом кислорода. Иными словами, растворение воды в шлаках происходит только в окислительных условиях, а водорода - в восстановительных.

В свете изложенного логично предположить, что доминирующая роль показателя стехиометрии в многофакторных зависимостях является признаком пребывания водорода в относительно нейтральном состоянии, повышение же роли параметра химического эквивалента состава свидетельствует об активизации его взаимодействия с окружающими атомами матрицы, в первую очередь кислорода.

УДК.669.162.212:549.5:669.02/09

А.Н. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, Е.В. Синегин

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ПОЛЯРИЗАЦИИ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

В основе процесса разрушения огнеупора шлаком лежат электрокапиллярные и электрохимические процессы, протекающие в большей степени в порах и трещинах огнеупора, поверхностная энергия в которых ниже, чем на гладкой поверхности. Эти процессы на сегодняшний день мало изучены, однако контроль над их протеканием может дать возможность повысить стойкость огнеупора к шлаку на принципиально новый уровень.

Аналитическими исследованиями доказано, что при пропускании электрического тока через шлак и периклазоуглеродистый огнеупор на поверхности последнего возникает двойной электрический слой (д.э.с.) [1-3]. Это резко замедляет взаимодействие футеровки со шлаком.

Эффект повышения стойкости футеровки достигается при создании с помощью внешнего источника электрического тока разности потенциалов между жидким шлаковым расплавом и огнеупором. Пропускание тока приводит к накоплению на границе огнеупор-шлак ионов определенного знака, вызванному специфической адсорбцией, и, как следствие, к образованию двойного электрического слоя. Качественный и количественный состав этого д.э.с. можно изменять путём изменения соответственно знака и величины электрического потенциала, подведенного к огнеупору, и плотности электрического тока, определяющей скорость диффузионных процессов между огнеупором и шлаком [4]. При этом скорость массообменных процессов в системе огнеупор-шлак зависит от состава и электрической ёмкости д.э.с. и электропроводности шлакового расплава [5].

На основании проведенных высокотемпературных исследований и математического моделирования определены значения параметров, обеспечивающие минимизацию площадей огнеупора, разрушенного и пропитанного шлаком: плотность электрического тока не более 2,5 мА/см^2; напряжение на 15÷20 % больше рассчитанного по закону Ома для полной цепи при заданной силе тока сопротивлении цепи; температура 1520÷1600 °С; низкое содержание (FeO) в шлаке. Применение поляризации огнеупоров на практике позволит повысить стойкость периклазоуглеродистой футеровки металлургических агрегатов в 1,5÷1,7 раза.

Создана математическая модель для прогнозирования скорости разрушения периклазоуглеродистых огнеупоров в зависимости от температуры и химического состава шлака, напряжения и плотности электрического тока, подаваемого на границу раздела шлак-огнеупор. Её анализ подтверждает отрицательное влияние повышенного количества (FeO) на износ поляризуемого огнеупора. Характер температурной зависимости представлен в виде параболы с локальным минимумом, которому отвечает целесообразный температурный интервал эксплуатации футеровки 1520÷1600 °С. За пределами этого интервала наблюдается незначительное уменьшение эффективности способа.

Прогнозированное повышение стойкости периклазоуглеродистой футеровки составит 1,5÷1,7.

Список литературы

1. *Сотников А.И.* Строение границы металл-оксидный расплав и особенности электрохимических методов в металлургических системах / А.И. Сотников. – В кн.: Физико-химические исследования металлургических процессов. Свердловск: УПИ им. С. М. Кирова, 1974.
2. Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия / В.В. Скорчеллетти. – Л. : Государственное научно-техническое издательство, 1963. – 608 с.
3. Тамм И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. – М. – 1989. – С. 57-58.
4. Фрумкин А.Н. Двойной слой в электрохимии / А.Н. Фрумкин. – Успехи химии, IV, вып. 7. – 1935 г. – 987 с.
5. Диаграммы электропроводности шлаковых расплавов сталеплавильных процессов / Бойченко Б.М., Низяев К.Г., Стоянов А.Н. [и др.] // Изв. ВУЗов. Чёрная металлургия. – 2011. – №4. – С. 58-60.

УДК 669.141.24:620.186.14

Т.М. Титова, М.С. Бешкенадзе

Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НИТРИДОМ ТИТАНА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

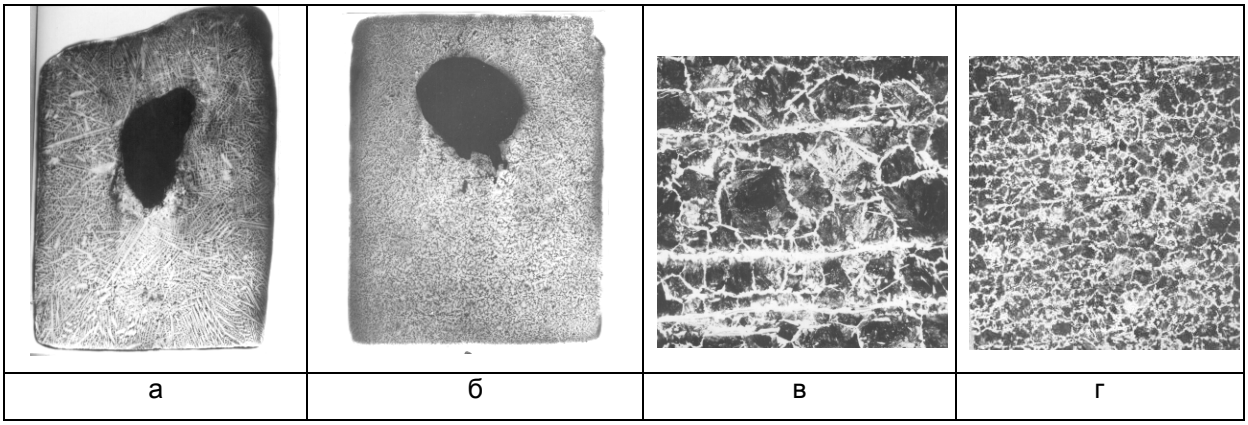
В решении проблемы повышения конкурентоспособности металлопроката модифицирование представляет одно из простых, надежных, экономически выгодных и эффективных средств воздействия на микроструктуру стали. В настоящее время список веществ, используемых в качестве модификаторов, значительно расширился за счет привлечения наночастиц. Однако высокая стоимость и неоднозначность представлений о механизме их воздействия и обеспечения ими модифицирующего эффекта требует проявления определенной осторожности в рекомендациях по использованию таких частиц для массивных слитков и отливок.

Выбор нами в качестве модификатора 2-го рода или инокулятора нитрида титана, образующегося из компонентов в жидком расплаве, обусловлен соответствием его критериям эффективности воздействия на микроструктуру и экономической целесообразностью.

Следует отметить, что ранее выполненные исследования, как правило, касались отдельных аспектов проблемы модифицирования: либо воздействия частиц на жидкий и затвердевающий расплав, либо взаимодействия их с твердыми составляющими стали. В тоже время обеспечение высокого качества металлопроката тесно связано с заключительными этапами технологического цикла производства – разливкой стали, затвердеванием, термической обработкой, взаимосвязь которых обусловлена возможностью достижения максимального эффекта воздействия на микроструктуру стали и физико-механические свойства металла при совместном их применении. Назревшая необходимость создания комплексной технологии разливки и термообработки стали требует осуществления соответствующих исследований. Поэтому настоящей работы состояла в попытке найти, эффективно использовать и сохранить весь потенциальный ресурс возможности воздействия включений нитрида титана и титана, растворенного в стали, на ее микроструктуру и свойства металлопроката в течение указанного цикла производства.

В качестве объекта исследования рассмотрены слитки среднеуглеродистой стали массой 200г и 8,3т, а также трубные заготовки. Обнаружено, что максимальный модифицирующий эффект, достигнутый при оптимальных присадках инокулято-

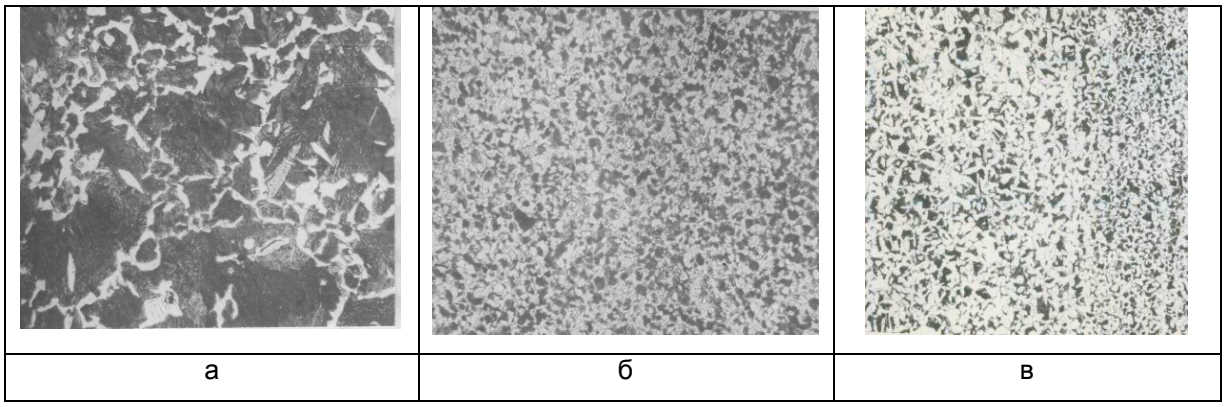
ра на 200г лабораторных слиточках (рис.1 а, б) сохраняется и на крупных промышленных слитках. Однако его проявление еще более заметно на деформированном металле, отобранном как из головной, так и из средней и донной частей раскатов слитков (рис.1 в, г), (рис.2 в).



а б в г

Рисунок 1. Дендритная структура сравнительного (а) и опытного (б)200г слиточков, микроструктура средней части раската сравнительного (в) и опытного (г) слитков.

Выбранный режим двойной термической обработки с чередованием нагрева и закалки привел к торможению роста аустенитного зерна модифицированной стали при нагреве и существенного его измельчения за счет подплавления крупных включений TiN и выделения мелкодисперсных частиц TiCN (рис.2а,б).



а б в

Рисунок 2. Аустенитное зерно в сравнительной стали (а) и модифицированной нитридом титана (б), граница измельчения зерна в прокате, обусловленное воздействием модификатора (в).

Таким образом, выбранная комплексная технология модифицирования стали нитридом титана с последующей термообработкой позволила обеспечить мелкозернистую структуру, являющуюся залогом повышения качественных показателей механических свойств литого металла и проката.

УДК 669.187-194.52:001.73:669.786

Трегубенко Г.Н.[1], Бубликов Ю.А.[1], Поляков Г.А.[1], Пучиков А.В.[2], Лелеко Д.В.[1]

[1] – НМетАУ, [2] – ИЧМ, г. Днепропетровск

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОСТАЛЕЙ ДЛЯ ВАГОННОГО ЛИТЬЯ

Выполнен комплекс работ по повышению механических и эксплуатационных характеристик литых низколегированных сталей, применяемых в вагоностроении, нефте- и газопроводах, морском деле и т.п. Разработанный принцип улучшения микроструктуры и свойств литых сталей, основанный на их комплексном модифицировании азотом, титаном и алюминием, позволяет достигать эффект эквивалентный использованию дорогостоящих и импортируемых в Украину легирующих элементов (ванадия, ниобия, никеля, хрома, молибдена, меди и др.). Для максимального прироста прочностных свойств (без ухудшения вязкости и пластичности) разработанный способ допускает с дополнительное повышение содержания кремния в металле.

Основные принципы нового технологического процесса прошли широкомасштабную промышленную апробацию в условиях ОАО «Кременчугский сталелитейный завод» при производстве крупногабаритного вагонного литья (рама боковая, балка надрессорная, автосцепка) из стандартной стали 20ГЛ в соответствии с современными требованиями Укрзализныци и ОАО «РЖД». В 2005-2006 г.г. выплавлено более 100 опытно-промышленных плавок (общим весом ~ 3000 т) модифицированной стали 20ГЛ, которая обеспечивает высокую эксплуатационную надежность вагоностроительного литья с гарантированным пределом текучести не менее 380 МПа и коэффициентом запаса сопротивления усталости более 2,0, что соответствует требованиям к литым сталям для грузовых вагонов нового поколения. С 2007 г. новым руководством ОАО «КСЗ» начато массовое производство модифицированной стали 20ГЛ по упрощенной технологии (без дополнительного ввода микродобавок азота), что обеспечивает получение после нормализации зерна не крупнее 8 балла, повышение предела текучести (но без гарантированного достижения уровня 380 МПа) и коэффициента запаса сопротивления усталости (≥1,8).

Использование принципиально новых технологических решений может позволить разработку экономичных и высокопрочных сталей для крупногабаритного вагонного литья с пределом текучести не менее 420 МПа в нормализованном состоянии и имеющих коэффициент запаса сопротивления усталости более 2,2.

При всех вариантах реализации новой технологии благодаря общему улучшению структурного состояния металла обеспечивается высокая эксплуатационная надежность вагоностроительного литья, в том числе и в условиях Крайнего Севера ($KCU^{-60} \geq 24,5$ и $KCV^{-60} \geq 16,7$ Дж/см^2), а также повышается технологичность производства за счет значительного снижения вероятности образования горячих трещин.

Разработанная технология может быть адаптирована для условий любого производителя крупногабаритного вагонного литья без существенного изменения действующего технологического процесса, без капитальных затрат и в сжатые сроки.

В существующих условиях большинство вагоностроительных заводов решает задачу предотвращения аварийных ситуаций, связанных с тележками грузовых вагонов путем некоторого изменения конструктивных размеров рам боковых и балок надрессорных в их наиболее опасных сечениях уменьшая при этом размеры в других сечениях. При этом не учитывается, что с увеличением сечения в нем обязательно снижаются механические свойства металла. Поэтому для наиболее эффективного повышения эксплуатационной надежности крупногабаритного литья для грузовых вагонов нового поколения необходимо применение высокопрочных сталей в сочетании с соответствующими рациональными изменениями конструкций рам боковых и балок надрессорных.

УДК 621.745.55

А.В. Феоктистов, О.Г. Модзелевская

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННЫХ ВАГРАНОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ[2]

В опубликованных Европейской комиссией документах о современных технологиях для литейной промышленности вагранки на холодном и горячем дутье относят к перспективным плавильным печам для выплавки чугуна. При этом в вагранке необходимо использовать:

• кокс с известными характеристиками и контролируемым качеством;

• двойной ряд фурм на холодном дутье;

• обогащение кислородом, непрерывно или периодически, с содержанием кислорода в окислительной смеси 22…25% (обогащение 1…4%);

• дожигание в шахте вагранки, если ваграночные газы содержат достаточно CO для горения без ввода внешнего топлива[1].

В России одним из основных направлений развития литейного производства является реконструкция литейных цехов и заводов на базе новых технологических процессов, материалов и перспективного оборудования. Плавка литейных сплавов является первичным и ответственным технологическим переделом, обеспечивающим литейные, прочностные и эксплуатационные характеристики сплава. В последние годы недостаточное внимание уделяется совершенствованию технологии ваграночной плавки чугуна и конструкций ваграночных комплексов. Вместе с тем вагранка в ряде случаев незаменима в условиях массового производства, при выплавке ограниченного количества марок чугуна и возможности ее использования в получении оксидных расплавов с дальнейшей их переработкой в теплоизоляционные изделия, при обжиге серных колчеданов и других целей. В современной структуре металлургического и машиностроительного комплекса России на долю производства чугунных отливок приходится до 60 % ваграночного чугуна. Уровень развития литейного производства предъявляет к вагранке постоянно повышающиеся требования к количественным и качественным характеристикам показателей эксплуатации, ресурсосбережению, интенсификации процесса, решению вопросов экологии, поиска новых ви-

[2] Работа выполнена согласно заданию №2014/213 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России.

дов топлива, направленных на повышение эффективности работы вагранок комплексов. Предприятия мировых лидеров – компаний литейной отрасли в последние три десятилетия сохранили вагранки как важнейшие плавильные агрегаты в чугунолитейном производстве, при этом они подверглись существенным изменениям в техническом отношении и в направлении увеличения производительности.

Основными направлениями развития вагранок процесса являются разработка ресурсосберегающих технологий плавки с применением заменителей кокса, интенсификация вагранок процесса, основанная на разработке комплекса мероприятий по определению влияния подогрева и увлажнения дутья на температуру получаемого расплава, обогащению дутья кислородом. Практика вдувания кислорода свидетельствует о снижении затрат на плавку, при этом стандартное обогащение дутья, нашедшее широкое применение, требует обоснования в части количества добавляемого кислорода и механизма его подвода [2].

Современные вагранок комплексы позволяют осуществлять переработку отходов металлургического производства, основанную на брикетировании коксовой и угольной мелочи с железосодержащими компонентами. В Германии разработана новая технология, названная OxyCup, заключающаяся в преобразовании отходов сталеплавильного производства, содержащих железо, смешивании с углеродом и получении жидкого чугуна, основанная на видоизмененной вагранке [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что вагранка не исчерпала полностью своих ресурсов и при создании современных вагранок комплексов целесообразно последние использовать в малотоннажной металлургии.

Список литературы

1. Жиль Тион. Вагранка в современном литейном производстве // Металлургия машиностроения. – 2013. -№2. – С. 2 – 11.

2. Feoktistov A.V. Technology of Cast Iron and Oxide Materials Cupola Melting with Anthracite Used as a Fuel / A.V. Feoktistov, I.F. Selyanin, S.A. Bedarev // World Applied Sciences Journal 20 (3): 376-381, 2012.

3. ООО «ЭкоМашГео». Новый способ переработки отходов сталеплавильных заводов. URL: http://briket.ru/newpublications/briket_steel1.html

УДК 669.18.536

П.С. Харлашин, В.М. Бакланский

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г.Мариуполь

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

В данной работе определяли поверхностное натяжение стали с различными содержанием кремния, на подложках из Al_2O_3, а также межфазное натяжение на границе жидкий металл-шлак. Поверхностное натяжение (σ), плотность (ρ) и межфазное натяжение ($\sigma_{М-Ш}$) пользовались методикой [1-3]. Экспериментальная установка состоит из плавильной печи, системы газоочистки, вакуумной и оптической систем и измерительных приборов [4].

Исходную сталь с содержанием 0,6% Si, 0,85% Cr и 0,4% C готовили сплавлением карбонильного железа класса В3, после специальной обработки она содержала следы примесей с кристаллическим кремнием марки КМ-1 (99,99% Si) и спектральночистым графитом в атмосфере очищенного аргона в алундовых тиглях.

Результаты измерения поверхностного натяжения стали и шлака представлены в таблице. Во всех случаях (σ) стали и шлака находятся почти в линейной зависимости от температуры, с отрицательными температурными коэффициентами dσ, dT (-0,29 и -0,51 $\frac{мДж}{м^2}$, соответственно). При температуре 1600 ºС поверхностное натяжение чистого железа, стали и шлака составляет $1850\frac{мДж}{м^2}$, $1510\frac{мДж}{м^2}$ и $485\frac{мДж}{м^2}$ соответственно. По-видимому, более низкое значение поверхностного натяжения в стали по сравнению с чистым железом связано с повышенным содержанием в ней кислорода, серы, фосфора, кремния и углерода.

Экспериментальные исследования показали, что при увеличении концентрации Si в расплаве поверхностное и межфазное натяжения снижаются. Причем межфазное натяжение убывает сильнее поверхностного. Краевые углы смачивания (θ) шлаком стали уменьшаются с повышением температуры и возрастанием содержания кремния в металлической фазе.

Таблица. Результаты определения поверхностных свойств и плотности

Si, по мас.	ат, % Si	σ_1, $\frac{мДж}{м^2}$	ρ, г/см^3	Краевой угол смачивания, θ, º	$\sigma_{М\text{-}Ш}$, $\frac{мДж}{м^2}$	Работа адгезии, $\frac{мДж}{м^2}$
1550 ºС						
0,5	1,0	1514	6,70	55,0	1250	768
2,0	4,0	1475	6,55	57,0	1180	785
5,0	9,5	1428	6,43	51,0	1123	790
10,0	18,0	1382	6,21	48,0	1085	800
15,0	25,4	1325	6,04	40,0	970	840
шлак	-	480	2,95	-	-	-
1600 ºС						
0,5	1,0	1470	6,63	51,5	1140	760
2,0	4,0	1430	6,40	48,0	1100	770
5,0	9,5	1380	6,30	43,0	1050	800
10,0	18,0	1305	6,10	41,0	975	825
15,0	25,4	1265	5,97	38,0	890	845
шлак	-	460	2,90	-	-	-

Список литературы:

1. А.С.1002929. СССР, МКИ G 01 №13/02. Способ измерения межфазного натяжения на границе раздела металл-шлак / П.С. Харлашин, Г.Д. Молонов. Опубл.7.03.83., Бюл.№9.

2. Харлашин П.С. Плотность и свободная поверхностная энергия расплавов Fe-Si / П.С. Харлашин, Г.Д. Молонов // Изв.АН СССР. Металлы – 1977. – №5. – С. 83-88.

3. Патент №70584А Україна, МКВ G 01 №13/02. Спосіб визначення геометричних параметрів краплі для розрахунку поверхневого натягу, цільності і крайового кута змочування металевих розплавів / П.С. Харлашин, Т.А. Левицкая; опуб.15.10.2004 р., Бюл.№10. – 5 с.

УДК 669.184.244.66

П.С. Харлашин, Ассиил Кадхим Мохаммед, В.О. Синельников

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г.Мариуполь

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ФУТЕРОВКЕ 160т КОНВЕРТЕРА С УЧЁТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ПЛАВКИ

Решение проблемы энерго- и ресурсосбережения при производстве стали в кислородных конвертерах прежде всего зависит от совершенствования теплового баланса плавки, сокращения тепловых потерь во время простоя, повышения стойкости футеровки и применения других технологических приёмов. Добавим к тому же, что стоимость смены футеровки 160т конвертера массой 280т на ММКИ составляет ~ 2,6 млн грн. После внедрения на комбинате технологии факельного торкретирования стойкость футеровки возросла более чем в 2 раза [1]. Однако связь между эффективностью торкретирования и цикличностью плавки ещё недостаточно изучена.

Математическая модель. Записав уравнение для теплового потока от слоя *i* – 1 к слою *i* и от слоя *i* к слою *i* + 1 с учётом изменения энтальпии *i*-го слоя, а также решая уравнение теплового баланса в форме

$$\rho_i c_i \Delta x (t_{i,j+1} - t_{i,j}) = \lambda_i \frac{t_{i-1} - t_{i,j}}{\Delta x} \Delta\tau - \lambda_{i+1} \frac{t_{i,j} - t_{i+1,j}}{\Delta x} \Delta\tau, \qquad (1)$$

найдём, что температура промежуточных слоев составит

$$t_{i,j+1} = t_{i,j} + \frac{\lambda_{i-1}\Delta\tau}{\rho_i c_i \Delta R^2}\left(t_{i-1,j} - t_{i,j}\right) - \frac{\lambda_{i+1}\Delta\tau}{\rho_i c_i \Delta R^2}\left(1 + \frac{\Delta R}{R_i}\right)(t_{i,j} - t_{i+1,j}). \qquad . \quad (2)$$

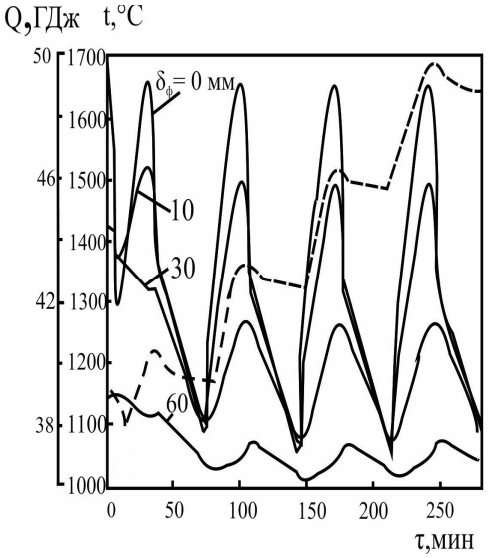
Так как футеровка конвертера состоит из различных материалов, то уравнения теплового баланса составляли для всех элементарных слоев и дополняли их уравнением, описывающим условия на границе двух различных материалов. Первый слой цилиндрической части футеровки состоит из смоломагнезитовых кирпичей и имеет толщину 550*мм*. В нем расположено N_1 = 550/ΔR (при ΔR = 5*мм*, N_1 = 110) элементарных слоев.

Циклограмма плавки включает следующие периоды: завалка лома – 5*мин*, заливка чугуна – 3 *мин*, продувка кислородом – 20 *мин*, слив стали – 7 *мин*, слив шлака – 3 *мин*, осмотр и ремонт футеровки – 10 *мин*.

Плавки без износа футеровки. Расчет был выполнен применительно 160т конвертеру ПАО «ММК им.Ильича». Принимали, что коэффициент теплоотдачи к внутренней стенке α = 20 *Вт*/(*м*^{2} ·*К*), коэффициент теплоотдачи от внешней стенки α

= 30 *Вт*/(*м*^{2} ·*К*), температура греющей среды *t* = 1800°*С* начальная температура чугуна *t* = 1300°*С*, конечная температура стали *t* = 1660°*С*. Цилиндрическая часть: диаметр корпуса *D* = 7.46 *м*, высота *h* = 4 *м*, износ футеровки за плавку *δ* = 1 *мм*, коэффициент теплопроводности (смоломагнезит) *λ* = 4 *Вт*/(*м*·*К*), плотность футеровки $\rho_ф$ = 2,72 *кг/м*^{3} её теплоёмкость *с* = 1,184 *кДж*/(*кг*·*К*). Для смоломагнезитовых, хромитопериклазовых огнеупоров и периклазового порошка коэффициент температуропроводности *λ* и теплоёмкости *с* определяли в зависимости от температуры. Например, для периклазохромитовых огнеупоров принимали, что их плотность *ρ* = 2770 ÷ 3000 *кг/м*^{3}, коэффициент теплопроводности $\lambda = 2{,}63 - 1{,}15 \cdot 10^{-3}\, t + 0{,}429 \cdot 10^{-6}\, t^2$; а теплоёмкость $c = 0{,}998 + 0{,}223 \cdot 10^{-3}\,(t + 273) - 0{,}208 \cdot 10^{5}\,(t + 273)^{-2}$;

Как видно из рисунка, максимальная температура футеровки $t_ф$ достигается на 25 *мин.* каждой из 4 рассмотренных плавок слое толщиной 10*мм* ещё поддерживается значительный перепад температур (400°*С*). Однако на расстоянии 60*мм* от наружного слоя в смоломагнезитовой футеровке $\lambda_ф$ = 4*Вт*/(*м* ·*К*), ρ_i = 2,72 *кг/м*^{3}, *с* = 1,184 *кДж*/(*кг*·*К*) даже в период продувки резкого изменения температуры не происходит. Характерно, что на 396 – 400 плавках (тонкие линии) общая закономерность изменения температуры сохраняется, более разогретой (на ~50°С) футеровке.



Рисунок– Циклограмма изменения температуры на поверхности футеровки (—) и её аккумулирующей способности (- - -) в течение 4 плавок 160т конвертера без учёта факельного торкретирования.

Разработанная модель позволяет определить температуру футеровки по слоям и на поверхности корпуса конвертера, с учётом цикличности плавки и толщины торкрет – слоя.

Список литературы

1. Теория и практика факельного торкретирования футеровки 160 т кислородных конвертеров / П.С. Харлашин, А.А. Ларионов, А.К. Харин, Н.О. Чемерис // Новые огнеупоры. − 2010. − №7. – С.5-9.

УДК 681.51.007.57:669.184

П.С. Харлашин, Ассиил Кадхим Мохаммед, А.К. Харин

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г.Мариуполь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ГАЗА НА СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ ПРИ РАЗДУВКЕ ШЛАКА В КОНВЕРТЕРЕ

Внедрение технологии раздувки конечного шлака обеспечило повышение стойкости футеровки кислородных конвертеров в несколько раз. Однако теория взаимодействия сверхзвуковых, как правило, нерасчётных струй со шлаковым расплавом только разрабатывается. В связи с невозможностью поддержать давление перед сопловым блоком продувочной фурмы постоянным, истекающие струи являются нерасчётными с характерной для них волновой структурой. Опыт металлургических комбинатов целого ряда стран мира показал, что раздувка шлака в конвертере, совместно с факельным торкретированием, обеспечивает условия для радикального (в 2-5 раз) увеличения стойкости футеровки конвертеров. Использование этих двух технологий может обеспечить увеличение стойкости футеровки вплоть до 20 – 25 тыс. плавок и выше. В настоящее время раздувка шлака в полости 350т конвертеров ПАО ММК «Азовсталь» уже внедрена, и стойкость футеровки сразу увеличилась вдвое.

Цель работы – показать, как изменяются присоединённая масса газа к сверхзвуковой струе, а также относительная температура T_x/T_1 и относительная скорость w_x/w_1 в произвольном сечении струи на её длине $\bar{x}$ при разогреве газа в полости конвертера.

Численное решение системы алгебраических уравнений позволило найти долю массы газа, эжектируемого из полости конвертера сверхзвуковой нерасчетной струей (присоединённая масса), как

$$g = \frac{2\bar{r}_{\max}\bar{x}}{D\sigma} C_i \left(1 - C_i^2\right)^{1/2} \int_{-\infty}^{\eta_j} \frac{\varphi d\eta}{\theta + \varphi\left(1-\theta\right) - \varphi^2 C_i^2} . \qquad (1)$$

Решая уравнение постоянства колличества движения получили, что среднемассовая скорость азотной струи, вытекающей из сопла Лаваля с учётом присоединения струёй шлака, рассчитали как:

$$w_x = \left[\left(1 - g_ш \psi_ш\right) w_1 + \frac{p_Г\left(n-1\right)}{\rho_1 w_1} - \frac{F_x}{F_1} \frac{p_x - p_Г}{\rho_1 w_1} \right] \frac{1}{\left(1 + g + g_ш\right)\beta} . \qquad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) C_i – число Крокко, $\bar{r}_{max}$ – максимальный радиус первой бочки нерасчетной сверхзвуковой струи, $\theta = T_Г / T_0$ – температурный фактор, $g = m_Г / m_1$ – присоединённая струёй масса газа из полости конвертера, $g_{шл} = m_{шл} / m_1$ – присоединённая струёй масса шлака, $n = p_1 / p_Г$ – степень нерасчётности истекающей сверхзвуковой струи, w_1 – скорость на выходе из сопла, *м/с*, ρ_1 – плотность азота в выходном сечении сопла, *кг/м*^{3}.

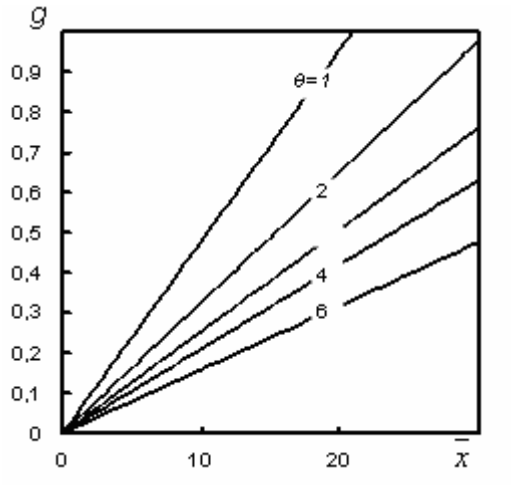


Рис. 1 – Зависимость присоединенной массы *g* от относительной температуры в полости конвертера θ на различном удалении $\bar{x}$ от среза сопла. Исходные данные: t_o = 30^o*C*, $t_{шл}$ = 1500^o*C*, $V_н$ = 210 *м*^{3}*/мин* , $t_Г$ = 30-1500^o*C*

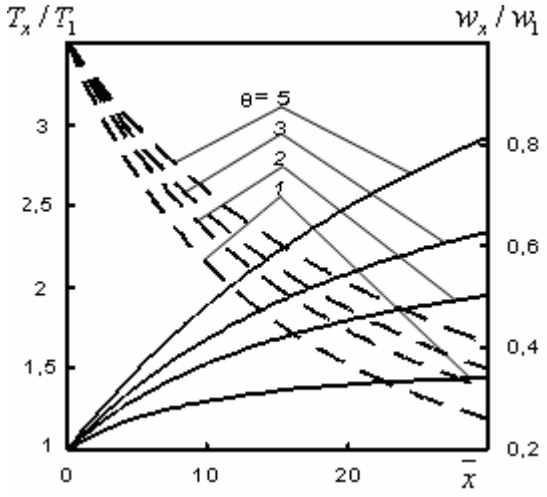


Рис. 2 – Зависимость отношения температур T_x/T_1 (—) и скоростей w_x/w_1 (– –) от относительной температуры в полости конвертера θ на различном удалении $\bar{x}$.Исходные данные: t_o=30^o*C*, $V_н$ =210 *м*^{3}*/мин* , $t_Г$=30-1500^o*C*.

Приведём пример. Если *θ* увеличивается с 1 до 6, то из-за уменьшения плотности ρ_1 конвертерного газа в 6 раз на расстоянии $\bar{x} = 20$ величина *g* снижается с 1 до 0,3(рис.1).

Адекватность модели подтверждается тестовыми проверками. Так, если

- *x* = 0(срез сопла), то присоединённая масса *g* = 0, что естественно(рис.1);
- *θ* возрастает, то струя присоединяет меньшую массу более разогретого газа и *g* снижается на любом удалении $\bar{x}$ (рис.1);
- сечение струи удаляется от среза сопла, то присоединённая масса *g* по длине $\bar{x}$ возрастает при любой температуре t_o, $t_Г$ (рис. 1);
- *x* = 0, то при любых параметрах ($t_Г$, t_o, *θ*,$V_н$), отношения $T_x / T_1 = 1$, и $w_x / w_1 = 1$, что подтверждает правильность решения (рис.2).

Таким образом, впервые установлено, как разогрев газа в полости конвертера и присоединение шлака влияют на термогазодинамические параметры сверхзвуковой струи, внедряющейся в шлаковый расплав.

УДК 669.046.516

П.С. Харлашин, А.В. Бендич

Государственное высшее учебное заведение

«Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ДОВОДКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Постоянно растущие требования к качеству стали, а также к снижению энергетических и сырьевых расходов на её производство привели к разработке ряда новых прогрессивных технологий, включающих обработку металла в ковше или специальных агрегатах внепечной обработки.

Дополнительная обработка металла в ковше может существенным образом улучшить технико-экономические показатели конвертерной плавки и, главным образом, обеспечить получение стали высокого качества с низким содержанием серы, фосфора, кислорода и неметаллических включений, водорода, азота.

Удаление газов и неметаллических включений из металлического расплава – рафинирование стали продувкой аргоном через применяемые продувочные устройства (пробки различной модификации, погружные фурмы, трубки, вмонтированные в шиберные каналы).

Впервые теоретические основы дегазации металлических расплавов путём продувки их нейтральными газами были разработаны Геллером. Суть их заключается в следующем: за время всплывания пузырьков аргона в металле соотношения между концентрациями [H] или [N] в нём и их парциальными давлениями в пузырьках достигают практически предельных значений.

Кинетика десорбции водорода в пузырьки аргона заключается в том, что лимитирующей кинетической стадией всего процесса в целом является скорость массопереноса растворённых газов в металле. Было установлено, что зависимость величины десорбции водорода из жидкого металла в пузырёк аргона от объёма вдуваемого аргона за время дегазации оказалась прямолинейной [1].

Значительно эффективнее проходит десульфурация и дефосфорация стали в сталеразливочных ковшах, предназначенных для эксплуатации в условиях внепечной

обработки стали, в которых для футеровки используют огнеупорные материалы нейтрального (на основе Al_2O_3) и основного (CaO, MgO) составов.

Наиболее широкое применение при внепечной обработке металла нашли кальций и магний, которые являются не только сильными раскислителями, но и десульфураторами металла.

В конце окислительного рафинирования содержание в металле газов - кислорода, азота и водорода, являющихся вредными примесями, часто оказывается выше значений, допустимых для готовой стали. Поэтому после окончания окислительного рафинирования возникает необходимость уменьшения содержания газов в стали или хотя бы перевод их в состояние, оказывающее наименьшее вредное влияние на свойства готового металла [2].

До конца продувки в металле остаётся некоторое количество кислорода. Его концентрация и активность к моменту выпуска металла из конвертерного агрегата определяется составом металла (прежде всего содержанием углерода) и шлака (в основном активностью оксидов железа), температурной ванны [2].

Почти весь содержащийся в металле кислород находится в растворённом состоянии. Во избежание отрицательного влияния его на свойства стали его концентрацию в жидком металле снижают ниже предела растворимости даже в охлаждённом состоянии.

Процесс снижения содержания растворённого в жидкой стали кислорода (раскисление) чаще всего проводят присадкой элементов, реагирующих с кислородом и связывающих его в прочные оксиды (осаждающий метод). Применяют также раскисление при пониженном давлении (в вакууме), когда раскисляющая способность углерода при низком давлении значительно увеличивается [2].

Осаждающее раскисление заключается в том, что основную часть растворённого в металле кислорода переводят в нерастворимые оксиды элементов-раскислителей, вводимых непосредственно в сталь. Плотность образовавшихся оксидов меньше плотности жидкой стали, поэтому они не оседают, а всплывают вверх, что приводит к их частичному удалению из металла в шлак [3].

Путём воздействия на металл вакуумом или инертным газом (углеродное раскисление) происходит существенное смещение реакции $[C]+[O]=CO$ вправо снижением парциального давления CO в газовой фазе. При остаточном содержании углерода 0,1% уже в случае $P_{CO}=0,1\,\text{атм.}$ равновесное остаточное содержание кислорода в металле составляет ~0,002%.

Однако во время вакуумирования металл постоянно контактирует с футеровкой ковша и шлаком, состоящими из различных оксидов. В этих условиях повышение раскислительной способности углерода приводит не только к раскислению металла, но и к восстановлению компонентов оксидных фаз, например, к смещению реакции $[Si]+2[O]=(SiO_2)$ влево в результате снижения [O]. В результате степень раскисления металла углеродом оказывается во много раз ниже. Эти смещения реакций, кроме снижения эффекта раскисления, могут привести к повышению содержания некоторых примесей в металле до недопустимо высоких пределов. Поэтому эффект углеродного раскисления в обычных условиях используется только частично [3].

Наиболее распространённым в настоящее время способом раскисления является осаждающее раскисление в ковше, т.к. при этом достигается экономия раскислителей.

Под дегазацией стали обычно понимают снижение содержания водорода и азота. Содержание азота или его вредное влияние можно снизить введением в металл элементов, имеющих высокое сродство к нему и способных образовать прочные, нерастворимые в жидкой стали соединения (нитриды). Удаление азота из металла при продувке его нейтральным газом идёт успешнее, если металл раскислен (легирован) нитридообразующими элементами (Al, Ti и др.). В этом случае основное количество азота удаляется в виде нитридов на поверхности пузырьков и переходит в шлаковую, а не в газовую фазу. Водород ни с одним из известных элементов-раскислителей прочных, не растворимых в жидком металле соединений (гидридов) не образует. Поэтому, если содержится в стали избыточное количество водорода, то единственным способом борьбы с ним является снижение содержания его до допустимых пределов путём дегазации металла [2].

Раскисление и дегазация металла, будучи заключительными операциями получения заданного содержания примесей в готовой стали, в значительной степени определяют качество слитка и готовых изделий из него.

Список литературы

1. Живченко В.С. Гомогенизация и рафинирование стали продувкой аргоном в шлейфовом мелкопузырьковом режиме / В.С. Живченко, А.И. Троцан, С.А. Фролова // Бюллетень «Чёрная металлургия». – 2008. – № 2. – С. 70-75.

2. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. – 454 с.

3. Бигеев А.М. Металлургия стали / А.М. Бигеев. – М. : Металлургия, 1977. – 440 с.

УДК 669.183

П.С. Харлашин, В.О. Синельников

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ СТАЛИ АРГОНОМ

Проблема взаимодействия газов и жидкой стали в процессе её выплавки является одной из самых актуальных при получении чистых сталей. Известно что, около половины брака, получаемого в сталеплавильном производстве, связано с газами, поглощёнными сталью в процессе её выплавки. Из растворённых в стали газов – кислорода, водорода, азота – наиболее сильное влияние на свойства и служебные характеристики оказывает водород.

Цель работы – изучение гидродинамики и массообмена между жидкостью и газом при продувке в режиме прямо- и противотока, а также разработка наиболее эффективного процесса обработки стали аргоном с целью дегазации.

Экспериментальные исследования выполнены на модели противоточного реактора, высотой 500 *мм*, диаметром 320 *мм* изготовленного из плексигласа. Дно реактора выполнено двойным с воздушной коробкой, которая имеет в центре трубку диаметром 40*мм*. В гнездо этой трубки установлены калиброванные отверстия для регулирования скорости истечения жидкости из реактора. Избыточное давление, создаваемое компрессором, составляло 0,3 – 0,5 *МПа*. Расход воздуха изменяли в количестве 0,5 – 1 $м^3/мин$.

Расход газа на дегазацию расплава можно определить по формуле:

$$v = \frac{9}{\eta}\left(\frac{1}{[H]_K} - \frac{1}{[H]_H}\right),$$

где v – расход аргона, $нм^3/т$; $\acute{\eta}$ – кпд продувки; $[H]_K$ и $[H]_H$ – начальное и конечное содержание водорода в стали, $см^3/т$.

Были выведены расчётные и экспериментальные данные

- при дегазации раскисленного металла

$$\eta = 0{,}49 – 0{,}76;$$

- при дегазации нераскисленного металла

$$\eta = 0{,}49 – 0{,}76.$$

При продувке металла аргоном удаление азота нестабильно и зависит от состава стали, её температуры и др. Известно также, что перенос водорода в металлической

фазе зависит от режима движения жидкости, содержания примесей и степени отклонения системы от равновесия по водороду и других факторов.

Установлены четыре характерные области на кривой зависимости высоты столба жидкости от интенсивности барботажа. Показано, как режим противотока влияет на время пребывания газа в жидкости. Установлено также, как интенсивность продувки газом влияет на массообмен между газом и жидкостью в режиме прямо- и противотока.

Разработаны рекомендации, по устранению недостатков, а именно, использование противоточного подвода металла и газа.

Список литературы

1. *Харлашин П.С.* Теоретичні основи сучасних сталеплавильних процесів: Навч. посібник / *П.С. Харлашин.* – К.: Вища шк., 2012. – 308 с.

УДК 669.162.275.2:669.89.001.5

Н.А. Циватая, Д.Н. Тогобицкая

Институт чёрной металлургии НАНУ им. З.И. Некрасова, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ДОМЕННОГО ШЛАКА НА ВЫНОС ЩЕЛОЧЕЙ ИЗ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

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.

Щелочи (оксиды, силикаты, карбонаты натрия и калия) обладают свойством накапливаться в доменной печи, циркулируя в рабочем пространстве, особенно в области температур 800-1100°С. Чрезмерное накопление щелочных соединений в доменной печи оказывает отрицательное воздействие на ее работу, снижая горячую прочность кокса, разупрочняя огнеупорную футеровку, способствуя настылеобразованию, подвисаниям шихты и прогару фурм, что, в конечном счете, увеличивает расход топлива и снижает производительность печи [1].

Основным средством устранения негативного влияния щелочей на доменный процесс является реализация, в сочетании с технологическими мерами, системы направленных промывок, обеспечивающих вывод щелочей из печи. На каждом металлургическом предприятии, исходя из накопленного опыта и особенностей плавки, разработаны методики промывок, составлены соответствующие графики их реализации, подобраны промывочные агенты или разработана технология их приготовления. Выполняемые при этом промывки не всегда являются эффективными, а в ряде случаев приводят и к негативному результату, вследствие чего доменные печи в течение суток могут находиться в расстроенном состоянии. Обусловлено это, в частности, отсутствием данных о характере накопления и количестве щелочей в зонах циркуляции, а также отсутствием достоверных данных о свойствах, поведении и характере воздействия промывочных средств на различные области доменной печи.

Поэтому, особо актуальными являются исследования, направленные на поиски эффективных технологических методов вывода щелочных соединений из печи со шлаком и при этом обеспечение ровного хода печи, нормального теплового состояния горна и получение кондиционного по сере чугуна в соответствии с действующими техническими условиями. Выявление закономерностей влияния компонентов доменного шлака на содержание в нем щелочных оксидов, позволит рассмотреть качественную и количественную стороны процессов адсорбции и десорбции шлаком щелочных оксидов, а также определить оптимальные условия работы печи, обеспечивающие максимальный вывод щелочей.

Проведенные исследования показали, что условия удаления из доменной печи для K_2O и Na_2O существенно отличаются. Так, на содержание K_2O в шлаке влияют оксиды кальция, магния, марганца, кремния, титана и железа, а на содержание Na_2O – оксиды кальция, титана и алюминия. Такое различие объясняется разными свойствами щелочных металлов. Обычно, в практике доменного производства, при ведении плавки с целью максимального вывода щелочей из печи через шлак, содержание оксидов калия и натрия в шихте суммируют, принимая их за оксиды с одинаковыми свойствами. При этом меры, проводимые для вывода щелочей из печи, зачастую являются не достаточно эффективными, что приводит к нерациональному использованию топлива и снижению производительности доменной печи.

На основании исследований о влиянии щелочей на изменение параметров межатомного взаимодействия [2] и проведенных исследований по влиянию компонентов доменного шлака на содержание в нем щелочей предложены уравнения для

прогнозирования содержания K_2O и Na_2O в шлаке (R^2=0,6) в виде: $\%K_2O = f(\frac{CaO + MgO}{SiO_2}; \frac{MgO}{TiO_2}; \frac{CaO}{MnO})$, $\%Na_2O = f(\frac{CaO}{MnO}; \frac{MgO}{Al_2O_3})$.

Адекватность моделей подтверждена результатами анализа шлакового режима работы двух доменных печей объемом 5500 и 3000 м^3, работающих в разных сырьевых условиях.

Список литературы

1. Анализ поведения щелочей в доменной печи / И.Ф. Курунов, В.Н. Титов [и др.]. // Металлург. – 2009. – №9. – С. 34-39.

2. Циватая Н.А. Прогнозирование свойств щелочесодержащих доменных шлаков на основе параметров межатомного взаимодействия / Н.А. Циватая, Д.Н. Тогобицкая, Н.А. Гладков // Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – №1(35). – С. 19-26.

УДК 669.162.214

К.С. Цюпа

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ФУТЕРОВКИ ШАХТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Состояние комплекса ограждения шахты доменной печи напрямую зависит от тепловой работы ее периферийно зоны. Исследованиями тепловой работы периферийной зоны в газогенераторах и доменной печи, и системой ограждения занимались: Доброхотов Н.Н., Кармазин В.И., Андоньев С.М., Семикин И.Д., Бородулин А.В., Васильев П.Г., Хрущ В.К. и др. [1-3].

Установление аналитических и экспериментальных зависимостей между температурами в футеровки, тепловыми потерями в системе охлаждения и возможными условиями тепловой работы футеровки шахты доменной печи является актуальной научной и прикладной задачей, решение которой позволяет совершенствовать конструкцию печи и автоматизированные системы контроля ее «разгара» [1-3]..

Для доменной печи объемом 1513 м^3 выполнен расчет тепловой работы и разгара футеровки шахты по экспериментальным зависимостям Васильева П.Г. и по модели Хруща В.К. с учетом теплофизических и геометрических свойств футеровки,

развития теплообменных процессов по высоте печи [1, 3].. Расчет проводился с целью прогноза условий тепловой работы футеровки и определения возможности автоматизированного контроля разгара футеровки шахты с использованием термопар установленных на разных горизонтах (5 горизонтов) и глубине в футеровку шахты. По результатам исследований проанализированы закономерности изменения остаточной толщины футеровки и температур в ней:

- увеличение удельных тепловых нагрузок приводит к более неравномерному температурному градиенту, по высоте печи и по толщине футеровки.

- с увеличением температуры периферийных газов растут температуры в самой футеровке, и уменьшается перепад температур по высоте шахты печи.

- изменение температур на внешней стенке футеровки, при прочих равных условиях, не влияет на изменение температурного градиента по ее толщин.

- применение футеровки с различными теплофизическими параметрами приводят к инверсии температурного поля в местах ее стыков.

Для контроля разгара футеровки шахты и показателей ее тепловой работы, охлаждаемой системой испарительного охлаждения, целесообразным является установка термопар в футеровку и в тело холодильных плит на различных горизонтах доменной печи. При использовании охлаждения холодильников технической и химической очищенной водой целесообразно контролировать расход и температуру воды на входе и выходе из группы холодильников.

Автор выражает благодарность за помощь в постановки задачи к.т.н. А.Л. Чайки.

Список литературы

1. *Бородулин А.В.* Домна в энергетическом измерении / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, Г.И. Орел [и др.]. / Кривой Рог: Издательство СП «Мира». – 2004г.

2. *Андоньев А.С.* Охлаждение доменных печей / А.С. Андоньев, О.В. Филипьев, Г.А. Кудинов. – М.: Металлургия, 1972.

3. *Васильев П.Г.* К вопросу об определении температуры газов около стен доменной печи / П.Г. Васильев, Д.В. Ризун // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1995. – № 9.

УДК 504.7:551.38

М.С. Чернишова, О.В. Саввін

Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ

ПОСЛАБЛЕННЯ ПАРНИКОВОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКИДІВ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Заходи щодо зниження викидів вуглекислого газу, що викликає парниковий ефект, все більшою мірою стають пріоритетними в промисловості, зокрема в металургії. Скорочення викидів цього газу має забезпечуватися загальнонаціональними заходами, які включають розробку відповідних технологій, заміну застарілого обладнання, а можливо і повне виключення з експлуатації установок - джерел цих викидів. Крім того, є ряд міжнародний політичних угод для забезпечення виконання загальнонаціональних завдань щодо скорочення викидів: "Спільне впровадження", "Механізм розробки чистих технологій" і "Продаж квот на викиди".

Розрахунок викидів газів, що створюють парниковий ефект, враховує всі прямі (пов'язані з технологічними процесами) і непрямі викиди і включає загальнонаціональне питоме значення викидів вуглекислого газу.

Приблизно 15% усієї вироблюваної енергії використовується підприємствами чорної металургії - найбільшим світовим енергоспоживачем, що дає приблизно 9% викидів вуглекислого газу антропогенного виробництва в глобальних масштабах.

Оскільки металургійне виробництво, а також пов'язані з ними викиди вуглекислого газу сконцентровані локально в порівнянні з іншими основними джерелами викидів (наприклад автотранспортом або енергетичними установками), то простіше вимагати від металургійних компаній зниження викидів вуглекислого газу.

Щоб оцінити загальні викиди вуглекислого газу для різних схем металургійного виробництва, необхідно спочатку визначити маршрути готової продукції та відповідні основні дані, також граничні умови. Тоді це може послужити основою для розрахунку прямих та непрямих викидів вуглекислого газу, а також визначення квот вуглекислого газу.

При оцінці викидів вуглекислого газу необхідно враховувати як прямі, так і непрямі викиди. До прямих відносяться викиди, що утворюють безпосередньо в промисловому виробництві, а непрямі - утворюються, наприклад, при виробленні електроенергії на електростанціях або при видобутку корисних копалин, підготовки і транспортуванні сировини.

Важливим показником в розрахунках викидів вуглекислого газу служить загальнонаціональне питоме значення викидів вуглекислого газу для виробництва електроенергії. Ця величина в різних країнах різна і залежить від співвідношення гідроелектричної, ядерної та теплової енергій, що застосовується для виробництва електроенергії. На гідроелектричних і ядерних електростанціях практично немає викидів вуглекислого газу в порівнянні з тепловими.

Загальнонаціональне питоме значення викидів вуглекислого газу служить підставою для розрахунку непрямих викидів, що важливо для технологічних схем отримання сталі з високим споживанням електроенергії, а так само для можливих кредитів вуглекислого газу на металургійних заводах, де електроенергію отримують з експортних газів.

У таблиці наведені загальнонаціональні питомі значення викидів для виробництва електроенергії.

Таблиця. Загальнонаціональні питомі значення викидів для виробництва електроенергії.

Страна	Викиди,кг CO_2/(кВт*год)	Страна	Викиди,кг CO_2/(кВт*год)
Норвегія	0,026	Канада	0,219
Швеція	0,057	Венесуела	0,300
Франція	0,083	Аргентина	0,406
Австрія	0,279	Японія	0,435
Іспанія	0,576	Корея	0,501
Великобританія	0,646	Тайвань	0,588
Італія	0,666	США	0,706
Болгарія	0,677	Індонезія	0,989
Німеччина	0,725	ПАР	0,993
Росія	0,835	Китай	1,071
Бразилія	0,077	Індія	1,300

УДК 669.184.125.046.58.004.18

А.Г. Чернятевич[1], А.С. Гриценко[2], С.Е. Ганжа[2]

[1] – Институт черной металлургии,

[2] – Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ

В настоящее время на 160-т конвертерах кислородно-конвертерного цеха ПАО «ЕМЗ» повседневно применяемая технология продувки конвертерной ванны предполагает использование штатной конструкции кислородной фурмы для продувки конвертерной ванны кислородом, нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера посредством раздувки азотными струями конечного шлака, охлаждения чрезмерно перегретых плавок путем азотной продувки, а также для обрезки кислородными струями металлических настылей с горловины конвертера. Это существенно сказывается на стойкости наконечников и ствола кислородной фурмы.

На ряду с этим, использование по ходу кислородной продувки конвертерной ванны магнезиальных шлакообразующих материалов с целью формирования конечного шлака с повышенным содержанием оксида магния, обладающего надлежащими гарнисажными свойствами, сопровождается развитием явления «сворачивания шлака» и интенсивного выноса капель металла с заметалливанием ствола кислородной фурмы и горловины конвертера, что приводит к высоким расходам наружной трубы фурмы из-за повреждения при обрезке металлошлаковых настылей. Это, в свою очередь, влечет за собой высокие среднемесячные простои на ремонт и замену кислородных фурм, удаление металлошлаковых настылей со ствола фурмы и горловины конвертера.

Для устранения указанных недостатков технологии продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «Енакиевский металлургический завод» посчитали целесообразным применение двухъярусных фурм которые, по опыту зарубежных предприятий [1,2], будут способствовать предотвращению заметалливания ствола фурмы, горловины агрегата и локального разрушения футеровки, обеспечивая продувку ванны с оптимальным дожиганием отходящих газов.

Схема предлагаемой конструкции двухъярусной фурмы представлена на рисунке.

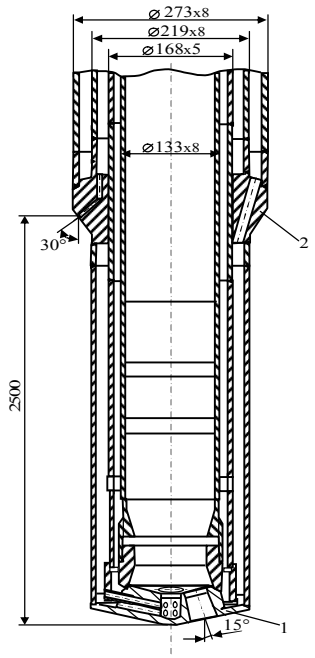


Рисунок. Схема предлагаемой конструкции двухъярусной фурмы:
1 – нижняя головка; 2 – верхний сопловой блок.

Список литературы

1. *Rymarchyk N.* Post combustion lances in Basic Oxygen Furnace (BOF) operations // Steelmaking Conference Proceedings. – 1998. – P. 445-449.
2. Further process improvements at Severstal Sparrows Point via new technology implementation / *R.P. Stone, D. Neith, S. Koester [et al.]* // AIS Tech 2009 Proceedings. – 2009. – №1. – P.737-747.

УДК 669.046:628.315

И.В. Чикида, С.В. Кравцов

Национальная металлургическая Академия Украины, Днепропетровск

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОКРАЩЕНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ $CaCO_3$ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Загрязнение сточных вод доменного производства является острой проблемой охраны окружающей среды. В доменных цехах загрязненные сточные воды образуются при очистке доменного газа, на разливочных машинах чугуна, в газопроводах коксового и смешанного газа, при грануляции доменного шлака, гидроуборке пыли в подбункерных помещениях.

Серьезным препятствием для эффективной работы системы оборотного водоснабжения является образование карбонатных отложений $CaCO_3$ на всех сооружениях системы, что объясняется высокой концентрацией свободной углекислоты в доменном газе, переходящей в воду в газоочистных аппаратах.В результате загрязнения карбонатными отложениями быстро подает охладительной эффект градирен, снижается пропускная способность скрубберов и трубопроводов; забивается водораспределительная система отстойников и ходовая часть запорной и регулирующей арматуры, каналы насосов. Вследствие чего оборудование выходит из строя. Кроме того, все эти процессы приводят к повышению температуры воды, подаваемой в газоочистные аппараты, и, как следствие, увеличивается влажность очищенного газа и понижается его теплотворная способность что, в свою очередь, вызывает нарушение основного технологического процесса.

Для удаления этих отложений применяются механические способы, а также гидропневматическая очистка лотков, трубопроводов и градирен. Для разрыхления отложений в оборотную воду добавляют фосфаты.Физико-химическая сущность метода состоит в воздействии полифосфатов на процесс кристаллизации карбоната кальция. Стабилизирующее действие сводится к нарушению процесса кристаллизации карбоната кальция и устойчивому пересыщению раствора этим соединением. Важной особенностью этого метода является то, что полифосфаты не обладают агрессивными свойствами и к точности их дозирования можно не предъявлять высоких требований. Полифосфаты способствуют замедлению коррозии.

Уменьшению образования отложений способствует двухступенчатая рекарбонизация оборотной воды углекислотой дымовых газов (перед градирней и после нее), образующихся после сжигания доменного газа в воздухонагревателях или в котельных установках. Необходимый расход дымовых газов, $нм^3$/ч. может быть определен по формуле:

$$G_R=5,1*\Delta C_{CO2}*Q_{цирк}/\beta *C_{CO2}, \quad (1)$$

где ΔC_{CO2} – необходимое увеличение концентрации CO_2 в охлаждающей воде, $мг/дм^3$; β – степень использования углекислоты, %; C_{CO2} – концентрация углекислоты в дымовых газах, %.

Содержание в дымовых газах SO_2 уменьшает расход потребного CO_2, т.к. 31 г SO_2 снижает карбонатную жесткость в 1 $м^3$ воды на 1 г-экв.

В результате такой обработки (рекарбонизация) в газоочистных аппаратах, трубопроводах, насосах и градирнях интенсивных карбонатных отложений не наблюдается. Для успешного применения рекарбонизации оборотной воды в системах водо-

снабжения доменных газоочисток из воды в отстойниках удаляются микрокристаллы карбонатов, чему способствуют выдувание свободной углекислоты из воды перед ее осветлением (дегазация), введение в воду дымовых газов с помощью водяного эжектора, работающего на оборотной воде.

Также, влияние на величину карбонатных отложений оказывает интенсивное перемешивание вод. Была изучена зависимость скорости (υ), а также продолжительности (t) интенсивного перемешивания смеси вод с гидратной и гидрокарбонатной щелочностью в соотношении 1:1 по объему на количество (m) плотных карбонатных отложений при различной температуре воды (Т), концентрации взвешенных веществ ($С_{взв}$) и величине щелочности (Щ).

При увеличении скорости (υ), времени (t) перемешивания, а также увеличении концентрации взвешенных веществ значения эффективности (Э) становятся ещё выше.

Список литературы

Нездойминов В.И. Повторное использование сточных вод в системахоборотного водоснабжения / В.И. Нездойминов, В.С. Рожков // Донбасская национальная академия строительства и архитектуры– СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. – №3. – 2006 – С.115-125

УДК 621

К.Ф. Чмырков[1], А.С. Заспенко[1], К.Г. Низяев[2], Б.М. Бойченко[2], А.Н. Стоянов[2]

[1] – ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

[2] – Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА В ШИХТУ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ (ЖСБ) И КАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ БРИКЕТОВ (БКЖС)

В работе выполнено моделирование конвертерной плавки с вводом в шихту применительно к условиям работы конвертерного цеха ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» при помощи, разработанной на кафедре металлургии стали НМетАУ программы расчета ее материального и теплового баланса.

Расчеты выполняли из условия получения на повалке: содержания углерода в стали 0,18 %; температуры 1640°С; основности шлака 3,0; содержание ($Fe_{общ}$) – 17,3 %.

Влияние расхода брикетов на удельные расходы шихтовых материалов представлено на рис. 1. Цифры у кривых – варианты процесса с добавлением в шихтовку: 1 – ЖСБ; 2 – БКЖС, с долей SiC в составе 0,3; 3 – БКЖС, с долей SiC в составе 0,4.

Каждый из рассмотренных вариантов конвертерной плавки имеет свои преимущества и недостатки. Так применение ЖСБ в завалку конвертерной плавки практически не влияет на расход извести и, как следствие не приводит к увеличению массы конечного шлака. При этом, за счет железа, содержащегося в брикетах, при увеличении расхода брикетов на 100 кг/плавку удельный расход металлошихты снижается на 1,08 кг/т стали, при увеличении расхода чугуна примерно на 3 кг/т стали и соответствующем снижении расхода металлолома.

Ввод в состав брикетов карбида кремния приводит к противоположным результатам. В зависимости от доли SiC в составе брикета 0,3 или 0,4 расход чугуна снижается примерно на 0,35 и 1,5 кг/т стали на каждые 100 кг вводимого брикета, расход металлолома повышается на 0,7 и 2,3 кг/т стали, соответственно. Однако, за счет возрастания массы шлака (расход извести увеличивается на 2,9 и 4,0 кг/т стали на каждые 100 кг вводимого брикета) и увеличения потерь металла со шлаком расход металлошихты увеличивается на 0,35 и 1,5 кг/т стали, соответственно.

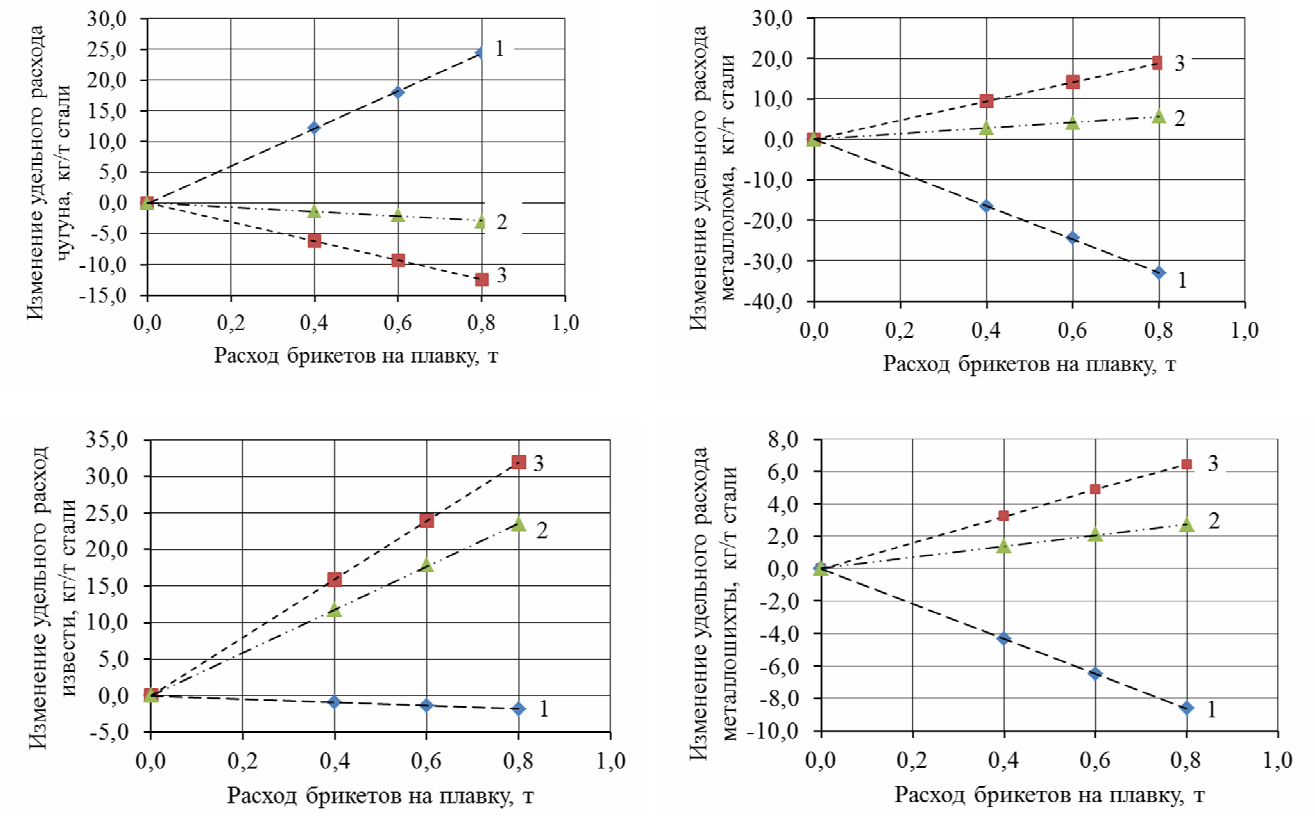


Рис.1 Влияние расхода брикетов на технологические показатели конвертерной плавки

Таким образом, в зависимости от конъюнктуры цен на шихтовые материалы и, соответственно, поставленной задачи, тепловой баланс конвертерной плавки возможно эффективно корректировать присадками того или иного вида железосодержащих, карбидокремниевых брикетов.

УДК 669.162.267.6

А.Ф. Шевченко[1], И.А. Маначин[1], С.А. Шевченко[1], В.Г. Кисляков[1], А.М. Шевченко[1], А.М. Башмаков[2], Лю Дун Йе[3]

[1] – Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина

[2] – ООО «Титанпроект», г. Запорожье, Украина

[3] – СК «Десмаг», г. Дашицзяо, КНР

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНЖЕКЦИОННОГО РАФИНИРОВАНИЯ ЧУГУНА МАГНИЕМ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОВШАХ

Современные требования сталеплавильного производства требуют получения больших масс чугуна (150–350 т в ковше) с небольшой продолжительностью рафинирования расплава и длительностью общего цикла всех операций обработки не более 18–25 мин. Этим требованиям не отвечают в полной мере применявшиеся технологии ковшевой десульфурации чугуна.

Институтом черной металлургии НАН Украины с соисполнителями указанные задачи решены за счет повышения равномерности вдувания магния и более рассредоточенного ввода двухфазного (магний-газ) потока в расплав чугуна. Моделированием процессов продувки чугуна в ковше показано, что переход с односопловой (одноканальной) фурмы к продувке многосопловой, в частности двухсопловой, фурмой увеличивает площадь поверхности тепло- и массообменной зоны в расплаве на 35–50 %. Это создает благоприятные условия для более активного усвоения магния чугуном и увеличения интенсивности его подачи в рафинируемый расплав.

Практически эти задачи решены применением фурм с одноканальным подающим магниепроводом и разделением магнийсодержащего потока в оголовке фурмы на несколько (в частности два) равных потока. Разработанная и проверенная система дозирования и подачи магния в потоке газа обеспечивают надежность работы оборудования и технологии.

Контрольными продувками чугуна установлено, что переход от односопловой фурмы к двухсопловой увеличивает степень усвоения магния как серу, удаленную K_{Mg}^{S} в среднем на 10 % абсолютных, т.е. до 40–60 % (в зависимости от исходной серы) при обеспечении конечного содержания серы в чугуне 0,003 %. Аналогичные зависимости получены при других значениях серы в чугуне. Усовершенствованная технология вдувания магния через двухсопловую фурму характерна снижением удельного расхода магния в среднем на 0,1 кг/т чугуна. Процесс вдувания зернистого магния через двухсопловую фурму характеризуется более спокойным и технологичным барботированием расплава в ковше, повышением налива чугуна в ковши ("свободный борт" вплоть до 0,15 м), повышением интенсивности вдувания магния до 13–25 кг/мин (в зависимости от типоразмера ковша) и сокращением продолжительности процесса вдувания в среднем с 8–10 мин до 5–6 мин.

Разработана рабочая номограмма требуемого фактического удельного расхода магния для снижения серы в чугуне с известного заданного до 0,005 %, 0,004 %, 0,003 %, 0,002 % и $\leq$ 0,001 %.

Технологический процесс и оборудование интенсифицированного вдувания магния освоены на 6 меткомбинатах КНР и Тайваня для десульфурации чугуна в различных заливочных ковшах (100–300 т). Снижение затрат по новой технологии составляет около 0,5 долл США/т чугуна (в сравнении с технологией вдувания зернистого магния через одноканальную фурму).

Список литературы

1. *Большаков В.И.* Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах / В.И. Большаков, А.Ф. Шевченко, А.М. Башмаков // К.: Наукова думка, 2011. – 207 с.

2. *Су Тиан Сен*. Развитие технологии предварительной обработки чугуна и ее освоение в Китае / Су Тиан Сен // Сб. научн. Трудов XII Междунар. симп. по десульфурации чугуна и стали. – Вена, Австрия: Almamet. – 19-22 сент. 2012. – С. 80-83.

3. *Хюскен Р.* Стратегия десульфурации в кислородно-конвертерном производстве стали / *Р. Хюскен, Ю. Каппель* // Металлургическое производство и технологии. М.: «Руда и металлы». – №1 – С.28-38.

4. Десульфурация чугуна зер-нистым магнием с высокой интенсивностью его ввода / Шевченко А. Ф., Маначин И. А., Башмаков А. М. [и др.] // Сталь. – 2013. – № 1. – С. 9-12.

5. Технико-экономическое сопоставление процессов внепечной десульфурации чугуна по результатам их промышленного освоения / Шевченко А.Ф., Башмаков А.М., Маначин И.А. [и др.] // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”, Москва – 2013 – № 10 (1366) – С. 23-30.

УДК 621.74

П.Б. Калюжний, Ю.І. Гутько, А.М. Голофаєв

Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Луганськ

ВИКОРИСТАННЯ КОМП’ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПРИЧИН БРАКУ СТАЛЕВОГО ВИЛИВКА «КАРТЕР ЗАДНЬОГО МОСТУ»

Однією з основних вимог, які висуваються до сталевого литва для вантажних автомобілів, є надійність в експлуатації. На надійність литої деталі значною мірою впливає наявність ливарних дефектів, а також напруги та деформації, які виникають під час її виготовлення. Комп’ютерне моделювання проводилося з метою виявлення причин виникнення тріщин у виливку «Картер заднього мосту» на прохання ПАТ «ЛЛМЗ».

При виробництві пробної партії картерів в певних місцях виливка утворювалися гарячі тріщини. Для виявленні всіх можливих місць утворення дефектів і розробки заходів по їх усуненню було прийнято рішення використати систему комп’ютерного моделювання ливарних процесів. Комп’ютерний аналіз проводився відповідно до заводської технології.

На першому етапі в CAD-системі була побудована тривимірна модель виливка, ливникової системи, екзотермічних вставок і т.д. Отримана модель в форматі STL передавалась в CAE-систему WinCast, за допомогою якої і проводилося моделювання.

На другому етапі для проведення необхідних розрахунків в модулі ANG програми WinCast була пошарово згенерована об’ємна сітка із 9602 елементів – трикутних призм. Система WinCast для обчислень температурних полів використовує метод кінцевих елементів.

Необхідні для моделювання дані - властивості сталі 35Л і фуран-суміші, граничні умови – були вибрані з бази даних програми. Температура заливання сталі - 1570°С, початкова температура форми – 20°С.

На основі вказаних даних в системному модулі TFB було проведено моделювання процесу кристалізації і охолодження виливка в формі. Результати розрахунку температурних полів були використані для подальшого моделювання напруг і деформацій в модулі SPA.

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання в системі WinCast проводиться в модулі EDA, який дозволяє вивести на екран розраховані поля температур, усадки, напруг, деформації, гарячих тріщин та ін.

Для визначення місцезнаходження можливих гарячих тріщин використали розрахунковий параметр «hot crack» (з англ. гаряча тріщина). Поля «hot crack» показали, що значення критеріїв гарячих розривів перевищують одиницю в тих же місцях, де і утворилися гарячі тріщини на пробних виливках.

Очевидно, що причиною виникнення гарячих тріщин під надливами, які розташовані по колу «банджо» картера, є високий температурний градієнт при твердненні. Про це також свідчить велика величина перепаду часу твердіння проблемних ділянок виливка.

Проаналізувавши поля деформацій можна сказати, що вони розподілились у виливку симетрично відносно його центру, тому викривлення виливка не буде спостерігатися.

На основі проведеного комп'ютерного моделювання запропоновані рекомендації по запобіганню утворення гарячих тріщин у сталевому виливку «Картер заднього мосту» шляхом встановлення усадкових ребер і збільшення радіусів переходів в проблемних місцях, зміни місць встановлення і об'ємів надливів.

Научное издание

ЛИТЬЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ. 2014

Материалы
Юбилейной
X МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Подп. к печати 25.04.13 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, 2014
Тираж 300 экз.

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ЛИТЬЕ 2014

27 - 29 мая 2014 года
УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ

III МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МЕТАЛЛУРГИЯ 2014

