Міністерство освіти та науки України
Національна академія наук України

Національний технічний університет
«Харківський політехничний інститут»

Фізико-технологічний інститут
металів та сплавів НАН України

Національна металургійна академія України

Асоціація ливарників України

Одеський національний політехнічний університет

Білоруський національний технічний університет

Магдебурзький університет ім. Отто-фон-Геріке

AGN University of Science and Technology A. Mickiewicha

Запорізька торгово-промислова палата

XV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ ЛИТВО 2019

VIII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МЕТАЛУРГІЯ 2019

ПРОГРАМА

21 – 23 травня 2019 РОКУ

УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ

2019

УДК 621.74+669(063)

Л64

Литво. Металургія. 2019: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції (21-23 травня 2019 р., м. Запоріжжя) / Під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Запоріжжя, АА Тандем. – 380 стор.

У збірнику представлено матеріали, що стосуються актуальних проблем ливарного і металургійного виробництва: отримання, обробки та структуроутворення сплавів; прогресивні технології та обладнання в ливарному виробництві; перспективні формувальні матеріали і суміші, технологічні процеси виготовлення форм і стрижнів; моделювання, комп'ютерні та інформаційні технології в ливарному виробництві; спеціальні способи литва та литва композиційних матеріалів; методи контролю ливарних і металургійних процесів, економіка та екологія ливарного виробництва.

Матеріали призначені для інженерно-технічних працівників металургійних і машинобудівних підприємств і науково-дослідницьких інститутів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

Друкується за рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту», протокол № 5 від 23.04.2019

Відповідальність за достовірність інформації, що викладена в матеріалах конференції, несуть їх автори.

УДК 621.74+669(063)

Л64

ISBN 978-966-488-169-9

© Запорізька торгово-промислова палата»
© АА Тандем, 2019

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Агравал П. Г. – к.х.н., доц., зав. каф. Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА), Краматорськ;

Акімов О. В. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), Харків;

Афтанділянц Є. Г. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), Київ;

Бойченко Б. М. – д.т.н, проф., зав. каф. Національної металургійної академії України (НМетАУ), Дніпро;

Бубликов В. Б. – д.т.н., ст.н. спів., зав. відділом Фізико-технологічного інституту металів і сплавів Національної академії України (ФТІМС НАНУ), Київ;

Бурбелко А. – AGH University of Science and Technology A. Mickiewicha, проф., Краків, Польща;

Верховлюк А. М. – заступник директора по науковій роботі ФТІМС НАН України, д.т.н., Київ;

Гнилоскуренко С. В. – к.т.н., зав. відділом ФТІМС НАНУ, вчений секретар Асоціації ливарників України (АЛУ), Київ;

Губін Г. В. – д.т.н., проф., зав. каф. Криворізького національного університету, Кривий Ріг;

Предраг Д. – SaTCIP (Scientifical and Technical Center for Intellectual Property) Ltd., Vrnjcka Banja; Serbia;

Дібров І. А. – д.т.н., проф., президент Російської Асоціації ливарників, заступник генерального директора ОАО НІІЛітМаш, Росія;

Дубодєлов В. І. –д.т.н., проф., акад. НАНУ, зав. відділом ФТІМС НАНУ, Київ;

Дурягіна З. А. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного університету "Львівська політехніка", Львів;

Затуловський А. С. – д.т.н., ст.н. співр., зав. відділом ФТІМС НАНУ, Київ;

Єпіфанов В. В. – проф., директор Навчально-наукового інституту Механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», , Харків;

Клименко С. І. – к.т.н., директор департаменту ливарного виробництва Міністерства економічного розвитку та торгівлі України, Київ;

Кропівний В. М. – к.т.н., проф., зав. каф. Центральноукраїнського національного технічного університету, Кропивницький;

Луньов В. В. – д.т.н., проф., директор інституту, зав. каф. Запорізького державного технічного університету (ЗНТУ), Запоріжжя;

Лисенко Т. В. – д.т.н., проф., зав. каф. Одеського національного політехнічного університету (ОНПУ), Одеса;

Марченко А. П. – д.т.н., проф., проректор по науковій роботі НТУ «ХПІ», Харків;

Мілко Міланов – голова союзу ливарників Болгарії, директор фірми «Інститут литва та ливарні технології», Софія, Болгарія;

Михаленков К.В. – д.т.н., проф., зав. каф. Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ»), Київ;

Нарівський А. В. – д.т.н., директор, член кориспондент ФТІМС НАНУ, Київ;

Найдек В. Л.–д.т.н., проф.,почесний директор ФТІМС НАНУ, акад. НАН України, Київ;

Наумик В.В. – д.т.н., проф., проректор по науковій роботі ЗНТУ, Запоріжжя;

Немененок Б. М. – д.т.н., проф., зав. каф. Білоруського національного технічного університету (БНТУ), Білорусь;

Ноговіцин О.В. – д.т.н., заступник директора по науково-технічній роботі ФТІМС НАН України, Київ;

Оборськии Г. О. – д.т.н., проф., ректор ОНПУ, Одеса;

Пермяков О.А. – д.т.н., проф., зав. каф. НТУ «ХПІ», Харків;

Пономаренко О. І. – д.т.н., проф. НТУ «ХПІ», віце-президент АЛУ, Харків;

Пройдак Ю. С. – д.т.н., проф., проректор по науковій роботі НМетАУ, Дніпро;

Рюдигер Б. – д.т.н., проф., зав. каф. Магдебурзького університету ім. Отто-фон-Гюрике, Магдебург, Німеччина;

Сігарьов Є. М. – д.т.н., проф., зав. каф. Дніпровського державного технічного університету (ДДТУ), Кам'янське;

Сокол Є.І. – д.т.н., проф., ректор НТУ "ХПІ", Харків;

Тарасюк Л. І. – к.т.н., доц., зав. каф. Приазовського державного технічного університету (ПДТУ), Маріуполь;

Турчанін М. А. – д.х.н., проф., проректор з наукової роботи, управління розвитком та міжнародних зв'язків ДДМА, Краматорськ;

Фесенко А. М. – к.т.н., проф., перший проректор ДДМА, Краматорськ;

Хричіков В. Є. – д.т.н., проф., зав. каф. НМетАУ, Дніпро;

Шинський О. Й. – д.т.н., проф., заступник директора ФТІМС НАНУ, президент АЛУ, Київ;

Эффенберг Г. – MSI (Material Science International), доктор, м. Штудгарт, Німеччина;

Ямшинський М. М. – к.т.н., доц., зав. каф. НТУУ «КПІ», Київ.

ЗМІСТ

А.М. Анисимова, О.И. Пономаренко, Д.А. Демин, Т.В. Берлизева. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИШОФИТА 16

Є. Г. Афтанділянц. ЗАКОНОМІРНОСТІ УТВОРЕННЯ ФЛОКЕНІВ В СТАЛЕВИХ ВИРОБАХ 17

Є. Г. Афтанділянц, К. Г. Лопатько. ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА НА МИКРОСТРУКТУРУ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 19

Є. Г. Афтанділянц. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКАЛИНЫ ВОДОРОДОМ 21

К.Э. Барановский, Е.В. Розенберг, И.Б. Саленко. КРАСКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ С КОМПЛЕКСНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ 24

Белик В. И., Пригунова А. Г., Шеневидько Л. М., Цыр Т. Г., Кошелев М. В. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБРАЗЦА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО МЕТОДИКЕ «СТОП-ЗАКАЛКА» 26

T. Berlizeva, O. Ponomarenko, M. Shvets. DEVELOPING PROGRESSIVE RODS PRODUCTION TECHNOLOGIES TO PRODUCE HIGH-QUALITY CASTING 28

Д. М. Берчук, В. Б. Бубликов, В. О. Овсянников КОВШОВЕ ТА ВНУТРІШНЬОФОРМОВЕ ГРАФІТИЗУЮЧЕ МОДИФІКУВАННЯ 29

Борисов А. Г. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕДЕНДРИТНОЙ СТРУКТУРЫ 31

Борисов Г. П., Недужий А. М., Пригунова А. Г. ФОРМУВАННЯ НЕДЕНДРИТНОЇ СТРУКТУРИ ПЕРВИННОЇ ФАЗИ В СПЛАВІ АК7Ч ПРИ ЗАЛИВЦІ РОЗПЛАВУ В ЛИВАРНУ ФОРМУ З РІЗНИМИ ЛИВНИКОВО-ЖИВИЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ 32

В. Б. Бубликов, Д. М. Берчук ВНУТРІШНЬОФОРМОВЕ МОДИФІКУВАННЯ ЧАВУНУ МАГНІЙ-КАЛЬЦІЄВОЮ ЛІГАТУРОЮ 34

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, А. А. Ясинский ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТНОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА 36

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинський, Д. М. Берчук, О. О. Ясинський ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ МАГНІЄВИХ ЛІГАТУР І МЕТОДІВ

МОДИФІКУВАННЯ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ 38

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, С. Н. Медведь, Н. П. Моисеева ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ВНУТРИФОРМЕННЫМ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ 40

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Е. А. Ясинская ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, ЛЕГИРОВАННОГО МЕДЬЮ 42

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Е. А. Ясинская ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, ЛЕГИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ 44

Верзилов А.П., Кулиш Ю.Ю., Гойда Д.И. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИСТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ЦЕНТРИФУГАЛЬНОЙ КАМЕРЕ ДВУХКАМЕРНОГО МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГОПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША 46

Верховлюк А. М., Щерецкий А. А., Сергиенко Р. А., Петровский Р. В. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ 48

К.В. Волощук, К.В. Островерхова, К.О. Костик. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНИХ ТИГЕЛЬНИХ ПЕЧЕЙ 50

Ворон М. М., Матвиец Е. А. ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИГАТУР С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ТУГОПЛАВКИХ И ВЫСОКОРЕАКЦИОННЫХ МЕТАЛЛОВ 51

В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко. РОСТ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МИРЕ 53

В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко. РЕЙТИНГ СТРАН-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОТЛИВОК В МИРЕ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА 55

С.В. Гнилоскуренко, Е.П. Белоусова. АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛИТЕЙНОЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ 57

С.В. Гнилоскуренко, М.В. Семенов, О.В. Бякова. МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ СПІНЕНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ТА ЇХ ОБМЕЖЕННЯ 60

Головаченко В. П., Дука В. М., Цир Т. Г., Вернидуб А. Г., Исайчева Н. П. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ ЧАСТИЧНО ЗАТВЕРДЕВШИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ (РЕОЛИТЬЕ) 62

А.Б. Головня, Т.А. Сыренко, И.Ф. Клименко. СПЛАВЫ МАРГАНЕЦ-МЕДЬ. ОСОБЕННОСТИ ЗАВАРКИ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК 63

Л. А. Дан, Л. А. Трофимова, А.Г. Подорожний. ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОТХОДОВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПОЛИСТИРОЛА В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ СМЕСИ 65

В. С. Дорошенко. СПОСОБ ЛИТЬЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ТЕРМООБРАБОТКОЙ ОТЛИВОК 67

В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко, В. О. Шинський. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНІВ ОБ'ЄКТІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА 68

В. С. Дорошенко, В. О. Шинський. КОНЦЕПЦІЯ КОМПЛЕКТАЦІЇ РОТОРНО-КОНВЕЄРНОЇ ЛІНІЇ 69

Ю.В. Доценко, В.Ю. Селиверстов, Н.В. Доценко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ 71

В. И. Дубоделов, А.В. Наривский, В. Н. Фикссен, А. Н. Смирнов, М. С. Горюк, К. С. Богдан, А. П. Верзилов, В. К. Погорский, А. Ю. Семенко. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ И ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ НИХ 73

А.П. Еременко, А.С. Лоза, А.А. Сиваева, В.В.Мильошина . ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО ЧУГУНА 75

Н. А. Жижкина. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАЛКОВ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ 76

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко. ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ 4-ЦВЕТОВОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ 78

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДВУХЦВЕТОВОЙ КОМПЕНСАЦИОННОЙ И КЛАССИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ 80

Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АСУТП ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ, МИКСЕРОВАНИЯ И РАЗЛИВКИ ЧУГУНА 82

Жуков Л. Ф., Гончаров А. Л., Петренко Д. А. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ ПОГРУЖНЫМИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ТСП-Ш 84

Д. Ю. Журило. О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 86

А. Г. Журило, Е. М. Сивак. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МГНЛ 88

Н. И. Замятин, В. Н. Замятин. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИГРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ MINECRAFT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ 90

Г.М. Засінець, В.М. Кропівний, Ю.В. Бабич. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ 91

Затуловский А. С., Лакеев В. А., Щерецкий В. А ЛИТЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ МАКРО- ЭЛЕМЕНТАМИ И ЭНДОГЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ В ПРОЦЕССЕ ЖИДКОТВЕРДОЙ КОНСОЛИДАЦИИ 93

Затуловський А. С., Щерецький В. О., Лакеєв В. А., Каранда О. А. ЛИВАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ АЛЮМОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ 95

Затуловський А. С., Щерецький В. О., Лакеєв В. А, Каранда О. А. ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАРУВАТИХ БІМЕТАЛІВ СИСТЕМИ «СТАЛЬ + АНТИФРИКЦІЙНИЙ КОМПОЗИТ (ЛКМ)» 97

Захарченко Э.В., Бурбелко А.А., Сиренко Е.А., Гончаров А.Л., Богдан А.В. НОВЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД ТЕРМИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЖИДКИХ ЧУГУНОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕФЕРЕНСНЫХ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ 99

Захарченко Э.В., Сиренко Е.А., Зубенина Н.Ф., Богдан А.В., Баранов И.Р., Таранухина Л.Д. ТЕНДЕНЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ МОДИФИКАТОРОВ MgLaFeSi ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЧШГ КОВШОВЫМИ СПОСОБАМИ 101

Л. Х. Іванова, А.Ю. Калашнікова, В.О. Терехін. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДВОШАРОВОГО ПРОКАТНОГО ВАЛКА 102

В. В. Каверинский, З. П. Сухенко. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НОРМАЛИЗАЦИИ И ЗАКАЛКЕ ВТУЛКИ И СТАЛИ 30ХГСА 105

В.Т. Калинин, В.А. Кривошеев, Е.В. Меняйло, Д.С. Другов, А.В. Новодран. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ДОМЕННЫХ ЧУГУНОВ, ЛЕГИРОВАНИЯ И НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ИХ РАСПЛАВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК 107

В. П. Каргинов, В. Г. Иванов. ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ СМЕСИ 108

С. Є. Кондратюк, Ж.В. Пархомчук,В. І. Вейс СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ЛИТОЇ ПЕРЕГРІТОЇ СТАЛІ 110

С. В. Конончук, В. В. Пукалов, О. В. Скрипник. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ РАФІНУЮЧИХ ПРЕПАРАТІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ РАФІНУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ 111

С. В. Конончук, В. В. Пукалов. ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ ВИЛИВКА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ 3D-МОДЕЛІ НА МІЦНІСТЬ СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION 114

О.П. Косенко, О.И. Пономаренко, Б.В. Корыткин, С.Д. Евтушенко. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТЛИВОК 116

Кошелев М. В., Пригунова А. Г. ДЕРИВАТОГРАФИЧЕЧКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛИВОК ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ РАСПЛАВА AL – 1.2 FE – 8 SI ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ 119

В. М. Кропівний, М. В. Босий, О. В. Кузик, А. В. Кропівна. ДЕЯКІ ЗАКОНОМІРНОСТІ МІЖФАЗНОГО РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ 121

Ладохин С.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТАВЕННОГО ЦИРКОНИЯ В ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ УКРАИНЫ 123

Локтионов-Ремизовский В. А., Кирьякова Н. В., Грибов Н. Н., Смолянская В. Ф. ИЗНАШИВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ 126

Т.В. Лисенко, М.І. Замятін, В.П. Доценко, М.П. Тур, О.Ю. Морозов. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ОБЛИЦЬОВАНІ КОКІЛІ 128

Т.В. Лысенко, А.А.Бондарь, К.А. Крейцер, Е.Н. Козишкурт, А.Л. Морозов. ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА БЕСФЛЮСОВОЙ ЗАЩИТЫ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ ВОЗГОРАНИЯ 130

Т.В. Лысенко, К.А. Крейцер, В.В. Ясюков, Е.Н. Козишкурт, А.Л.Морозов. ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМИРОВАНИЯ ФОРМЫ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ 132

Т.В. Лысенко, И.В. Прокопович, В.В. Ясюков, Л.И. Солоненко. ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНОГО СПЕКАНИЯ СОЛЕКЕРАМИКИ 134

Р.В. Лютий, М.В. Скирденко, Д.В. Люта. НАУКОВІ ОСНОВИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗВ’ЯЗУВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 137

І. І. Максюта, Ю. Г. Квасницька, О. В. Михнян, О. В. Нейма ВИГОТОВЛЕННЯ ПІНОКЕРАМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ З МОДИФІКОВАНОЇ КЕРАМІКИ 140

Малявин А. Г., Кузьменко А. А., Затуловский А. С., Щерецкий В. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ И ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ ОКСИФТОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ 142

Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ И ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ФОРМ НА РЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК 145

Д. В. Мариненко, О. І. Пономаренко, А. Є. Русабров ЗАСОБИ ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЯ ТРІЩІН У ВИЛИВКАХ 147

О.В. Меняйло, Ю.С. Пройдак, В.Є. Хричиков. ПОПЕРЕДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ГАРЯЧИХ ТРІЩИН У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ЧАВУННИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ 148

Мухтарзаде Вусал, Н. В. Кравцова, К.О. Костик ОСОБЛИВОСТІ ПІСКОДУВНОГО ПРОЦЕСУ В СТРИЖНЕВІЙ МАШИНІ 150

Новицкий В. Г., Шипицын С. Я., Лахненко В. Л., Локтионов-Ремизовский В. А., Кальчук Н. А., Грибов Н. Н. ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТОЙ СТАЛИ 120Х15Ю ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ

ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 151

Нурадинов А. С., Ноговицын А. В., Нурадинов И. А., Зубенина Н. Ф. ВЛИЯНИЕ ТЕРМО-СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК 153

И. А. Осипенко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЫЛИ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХИМИЧЕСКИ-ТВЕРДЕЮЩИХ ФОРМ 155

К.В. Островерхова, К.В. Волощук, К.О. Костик ОСОБЛИВОСТІ ІНДУКЦІЙНИХ КАНАЛЬНИХ ПЕЧЕЙ 157

Пелікан О. А., Глушков Д. В., Лихошва В. П., Клименко Л. М. ГІБРИДНА ЛИВАРНО-SHS ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ПЛАСКИХ БІМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ З ПОДОВЖЕНИМ ТЕРМІНОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ 158

Пригунова А. Г., Бабюк В. Д., Жидков Є. А. ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ ДРІБНОКРИСТАЛІЧНОЮ ТА РІДКОЮ ЛІГАТУРОЮ CuP НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЗАЕВТЕКТИЧНИХ СИЛУМІНІВ 159

Пригунова А. Г., Жидков Є. А., Бабюк В. Д., Шеневідько Л. К., Недужий МІКРОСТРУКТУРА СПЛАВУ ВАЛ10 ПРИМОДИФІКУВАННФ ДРІБНОКРИСТАЛІЧНИМИ ДОБАВКАМИ 161

Пригунова А. Г. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ, ЧАСУ ВИТРИМКИ В РІДКОМУ СТАНІ ТА ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ХАРАКТЕР ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СИЛУМІНІВ 163

Пригунова А. Г., Зелинская Г.М., Кошелев М. В. РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА АК5М2, ОБРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ 166

А. А. Радченко, О.И. Пономаренко, А.В. Сайчук. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА 168

А. Е. Русабров, О. И. Пономаренко, Д. В. Мариненко, И.Г. Либерг. ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13Л 170

Ю.А. Свинороев, К.А. Батышев, В.Б. Деев, К.Г. Семенов. БИОКОМПОЗИТНЫЕ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК 171

Ю.А. Свинороев. ЛИТЕЙНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ НА БИОПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 174

О.Д. Семенов. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ СИМПЛЕКСУ Б.Б. ГУЛЯЄВА ДЛЯ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВИМІРІВ 177

Сергиенко Р.А, Щерецкий А.А., Верховлюк А.М., Задорожный В.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОБЪЁМНОГО АМОРФНОГО СПЛАВА ZR55CU30AL10NI5 МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА 178

Середенко В. О., Середенко О. В., Паренюк О. А. ВИПЛАВКА МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ З ВИСОКОЮ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ В ІНДУКЦІЙНИХ ТИГЕЛЬНИХ ПЕЧАХ 180

Середенко Е. В., Середенко В. А. ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ В СПЛАВЕ АЛЮМИНИЯ С МЕДЬЮ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НАЛОЖЕНИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОХЛАЖДАЮЩИЙСЯ И ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ РАСПЛАВ 182

О. В. Скрипник, В. В. Святський, С. В. Конончук. ЗАСТОСУВАННЯ ЛЬОДОГАЗГІДРАТНИХ КАПСУЛ ДВООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СПІНЕНИХ ФІЛЬТРІВ 185

O. L. Skuibida. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM FOR PRODUCTION ENTERPRISES 187

А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, Б. М. Немененок, А. И. Данилова. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ 188

Л.И. Солоненко, С.И. Репях. ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ В ПЕСКЕ, НАХОДЯЩЕМСЯ В ЁМКОСТИ ТРУБЧАТОГО ТИПА 190

Л.И. Солоненко, С.И. Репях. ХРУПКОСТЬ СТРУКТУРИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ 192

В. О. Стригун, Н. М. Волошин, С. В. Гнилоскуренко, Л. С. Чаплигіна СТАНДАРТИЗАЦІЯ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 194

Н.И. Тарасевич, А.В. Ноговицын, И.В. Корниец ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТОНКОЙ ПОЛОСЫ В ВАЛКОВОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ 196

Тимошенко А. М., Лихошва В. П., Пеликан О. А. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛИЧЕСКИХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В

УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ И ХИМИКОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 197

Тимошенко А. М., Лихошва В. П., Голубчик М. І. ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІДНОСНО ПЕРЕТЯЖКИ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАЗЕРНОГО НАГРІВУ ЧАСТИНОК 199

Г. В. Трегубенко, В.Т. Калінін. ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОВИДІЛЕННЯ ВОДНЮ ПРИ ФОРМУВАННІ ВИЛИВОК З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ 201

Л. В. Трибушевский, Б. М. Немененок, Г. А. Румянцева, А. П. Бежок, М. А. Кулик. ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПЛАВКЕ ОКИСЛЕННЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ 203

Л. В. Трибушевский, Б. М. Немененок, Г. А. Румянцева. ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ ШЛАКОВ - ПУТЬ К ПОЛУЧЕНИЮ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛИТЕЙНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА 205

Л. В. Трибушевский. ГРАНУЛИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ ПО «СУХОЙ» ТЕХНОЛОГИИ 206

А.Н. Фесенко, М. А.Фесенко, В.А. Корсун ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ 209

М. А. Фесенко, А.Н. Фесенко, В.Г. Могилатенко. ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК «НОЖ» ИЗ ОДНОГО БАЗОВОГО РАСПЛАВА МЕТОДОМ ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ 212

В.Є. Хричиков, А.С. Лактіонов. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБІГРІВУ НА РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУР ПО ВИСОТІ НАДЛИВУ І ВЕРХНЬОЇ ШИЙКИ В ЧАВУННИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКАХ 214

К. И. Чубин, С. А. Стороженко, О.А. Чубина. ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА В 150-КГ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ 215

Шалевська І. А., Шинський О. Й., Шевчук Т.В., Коломійцев С. В. БЛОК-СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ЛИВАРНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ 217

А. П. Шатрава, В. П. Лихошва НОВЕЙШИЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ 219

М.В. Швец, О.И. Пономаренко, И.А. Гримзин, Н.С. Евтушенко, А.В. Зубишина. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЖНЕЙ НА ОСНОВЕ СОЛЯНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК 221

Шинський О. Й., Шалевська І. А., Погребач Є. В., Слюсарев В. А. ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ МАСО- І ТЕПЛООБМІНУ АРМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ І МАТРИЧНОГО СПЛАВУ 223

С. Я. Шипицин, О. П. Осташ, В. В. Кулик, И. Ф. Кирчу, В. Г. Новицкий НОВАЯ СТАЛЬ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ 225

Шматко О. В., Лихошва В. П., Клименко Л. М. ЧИСЕЛЬНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ СТАЛЬНОЇ ЗАГОТОВКИ КОНЦЕНТРОВАНИМ ТЕПЛОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ ЛИВАРНО-ПЛАЗМОВОМУ ОТРИМАННІ БІМЕТАЛЕВОЇ ПОЛОСИ 227

Щерецький В. О., Затуловський А. С. ОДЕРЖАННЯ ЩІЛЬНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ БРОНЗ ЗМІЦНЕНИХ ДИСПЕРСНИМИ ОКСИДАМИ І КАРБІДАМИ 229

Яковишин О. А. ПІДВИЩЕННЯ СПІНЮЮЧОЇ АКТИВНОСТІ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ ГРАНУЛ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ 231

М.М. Ямшинський, Г.Е. Федоров, А.Г. Ковальчук. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОТЛИВКАХ ПРИ ИЗНОСОСТОЙКОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ 233

М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров. ВИСОКОХРОМИСТІ ЧАВУНИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ 235

В. В. Ясюков, Т. В. Лысенко, А. А. Бондарь. ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВКАХ 237

УДК 621

А.М. Анисимова, О.И. Пономаренко, Д.А. Демин, Т.В. Берлизева

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИШОФИТА

Украина владеет развитым универсальным литейным производством, которое способно к выпуску сложных отливок любой массы из всех используемых в машиностроении сплавов. Доминирующим технологическим процессом является изготовление отливок в разовые песчаные формы, в которых получают 65-70% отливок. Изготовление форм и стержней из холоднотвердеющих смесей повышает точность отливок, сводит к минимуму потери от брака по вине форм и стержней, снижает трудоёмкость производства.

Одним из основных этапов изготовления отливок является этап приготовления формовочной смеси. Для получения высококачественных отливок формовочные смеси должны обладать: прочностью – способностью выдерживать внешние нагрузки, газопроницаемостью – способностью пропускать газы и долговечностью – способностью сохранять свои качества при повторном использовании.

В последнее время для решения задачи управления свойствами формовочных смесей и их стабилизации широко применяется расчетно-аналитический метод на основе планируемого эксперимента.

В качестве объекта исследования была выбрана смесь на кварцевом песке с добавкой магнезита и бишофитом в качестве сязующего, Для моделирования свойств смеси был проведен планируемый эксперимент.

Независимыми переменными были выбраны количество: кварцевого песка, магнезита и бишофита. В качестве выходных параметров выбрали основные физико-механические показатели свойств формовочных смесей: прочность на сжатие, живучесть, прочность на разрыв, осыпаемость и газопроницаемость.

Полученные уравнения регрессии доказывают функциональную связь между свойствами смеси с использованием добавки магнезита и отвердителем –

живучестью, прочностью на сжатие, осыпаемостью, газопроницаемостью и прочностью на разрыв.

Получены субоптимальные решения в виде гребневых линий, которые могут быть использованы в качестве номограммы, позволяющей оценить соотношение необходимых свойств смеси.

Список литературы

1. Дёмин Д.А. Методы оценки и оптимизация показателей эффективности технологического процесса плавки / Д.А. Демин // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков. – 2000. Выпуск № 117. – С. 42-44.

УДК. 536:539.21:621:664:669.01 (075)

Є. Г. Афтанділянц

Національний університет біоресурсів и природокористування України, Київ

ЗАКОНОМІРНОСТІ УТВОРЕННЯ ФЛОКЕНІВ В СТАЛЕВИХ ВИРОБАХ

Флокени являються небезпечними дефектами, оскільки їх присутність в сталі призводить до зниження механічних властивостей і інтенсифікації процесу руйнування. Флокени виникають у великих поковках, якщо не було достатньо часу для виходу водню з металу при охолодженні, тобто при високій швидкості охолодження заготовки після гарячої деформації або в процесі термічної обробки. Найбільша схильність до ураження флокенами мають вуглецеві сталі і леговані сталі мартенситного та перлітного класів.

Основною причиною утворення флокенів являється присутність в сталі підвищеної кількості водню в зонах розтягуючих напружень, які виникають в процесі структурних перетворень сталі, пластичній деформації, нерівномірному охолодженні, в місцях концентрації напружень, дефектах кристалічної решітки, границях зерен, неметалевих включеннях і ліквацийних неоднорідностей.

Будь який металургійний дефект сталі може стати колектором молекулярного водню, який при наступних перегрівах і охолодженнях із колекторів не виходить, а збирає навколо себе дифузійно-рухливий атомарний водень та збільшує крихкість матриці.

При експлуатації виробу, молекулярний водень, який знаходиться в колекторах, а також експлуатаційні напруження, можуть призвести до утворення експлуатаційних флокенів, які будуть джерелами зародження тріщин у виробі в процесі експлуатації.

Розчинність водню в металі залежить від тиску газової фази, температури, чистоти металу, його структури, розміру зерна і характеру розподілу дефектів.

Виділення водню при зниженні температури сталі відбувається через зміну його розчинності, особливо інтенсивно при кристалізації сталі та її алотропних перетвореннях.

Після насичення металу воднем, наприклад, при взаємодії пару води з розплавленою сталлю, в процесі охолодження виливки спостерігається виділення розчиненого водню в молекулярній формі, що супроводжується утворенням умов для зародження та росту тріщин.

При вмісті нижче 0,001% водень знаходиться в молекулярному стані, та не буде виділятися в виді газових бульбашок із рідкої сталі. Однак цього вмісту водню достатньо для того, щоб при температурі 400^{o}C тиск виділення водню перевищував границю міцності сталі та викликав утворення тріщини в сталі. При вмісті водню більше 0,001%, тиск виділення інтенсивно зростає поблизу інтервалу затвердівання і викликає «водневе кипіння» сталі, яке уражає виливку газовими раковинами. Тільки дуже низька концентрація водню (< 0,001%) і максимально можлива повна дифузія і десорбція водню в атомарному стані при охолодженні можуть захистити виливок від утворення газових раковин, локальних напружень і тріщин.

Атомарний водень в твердій сталі при зростанні температури чи на протязі часу дифундує на вільну поверхню. При контакті з колектором, атомарний водень може асоціюватися в молекули, що передбачає завершення дифузії. Дифузія других атомів водню в цей колектор і їх асоціація в молекули приводить до збільшення локального тиску до 1000 – 1800 МПа, що може перевищувати границю міцності сталі та викликати утворення локальної тріщини чи напруженої ділянки.

Утворення молекулярного газу із атомарного водню можливе також в результаті реакції з карбідами та неметалевими включеннями, наприклад:

$$Fe_3C + 4H = 3Fe + CH_4, \ldots.(1)$$

$$MnS + 2H = Mn + H_2S, \quad (2).$$

Утворенні молекулярні водневі сполуки, так як і молекулярний водень, не розчинні в металі та не дифундують. Це приводить до розвитку в середині металу великих напруг та їх релаксації при виділенні молекулярних сполук при руйнуванні металу. Тиск водню досягає максимуму біля 200°С та інтервал 400-200°С являється небезпечним для утворення флокенів.

Десорбція атомарного водню може протікати при нормальній температурі, однак для цього процесу потребується дуже довгий час. Швидкість процесу десорбції атомарного водню значно збільшується при нагріві сталі до 200-300°С внаслідок зростання дифузійної рухливості водню. Ефективність десорбції водню зростає при витримці на протязі 6-20 год.

УДК. 536:539.21:621:664:669.01 (075)

Є. Г. Афтанділянц, К. Г. Лопатько

Національний університет біоресурсів и природокористування України, Київ

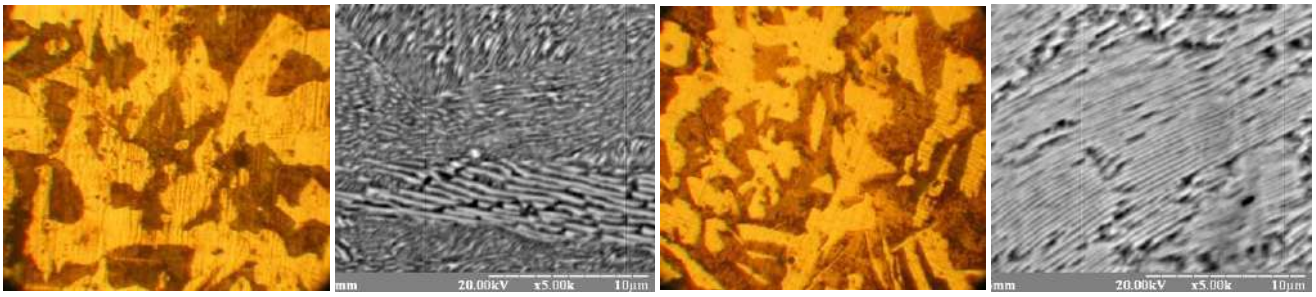
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА НА МИКРОСТРУКТУРУ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Исследовали изменение структуры стали 25ГСЛ в процессе модифицирования наночастицами железа, полученных электроискровой обработкой железных гранул в воде. Наночастицы железа состояли из 18% альфа железа и 82% гамма железа. Размер наночастиц изменялся от 15 до 60 нм, при этом количество частиц размером от 20 до 30 нм составляло 70-80 %. Изменение коэффициента формы частиц (отношение максимального размера к минимальному) составляло от1 до 2. Количество частиц с коэффициентом формы 1 составляло от 80 до 85%.

Сталь 25ГСЛ выплавляли в 60 кг индукционной печи с основной футеровкой и разливали в песчано глинистые формы для получения отливок массой от 10 до 20

кг. В процессе разливки расплав модифицировали наночастицами по методики изложенной в работе [1].

Микроструктура сталей в литом состоянии металла показана на рис. 1.

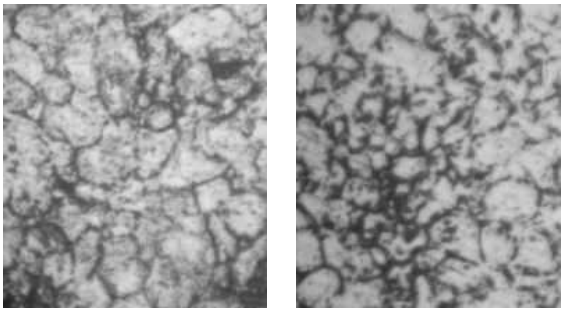


а б в г

Рис. 1. Влияние модифицирования наночастицами железа на микроструктуру стали 25ГСЛ в литом состоянии: а, б – исходная сталь; в, г - модифицированная сталь. Увеличение: а, в - 300; б, г – 5000

Анализ результатов исследования микроструктуры в литом состоянии металла показывает, что при модифицировании размер зерен перлита и феррита уменьшается в 1,8 – 2, 0 и 1,2 -1,3 раза, соответственно. Наблюдается уменьшение количества перлита с 75 % (для исходной стали) до 50% (для модифицированной стали) и увеличение содержания феррита с 25 % до 50%, соответственно.

В процессе нагрева модифицированной стали наблюдается формирование дисперсной аустенитной структуры (рис. 2).

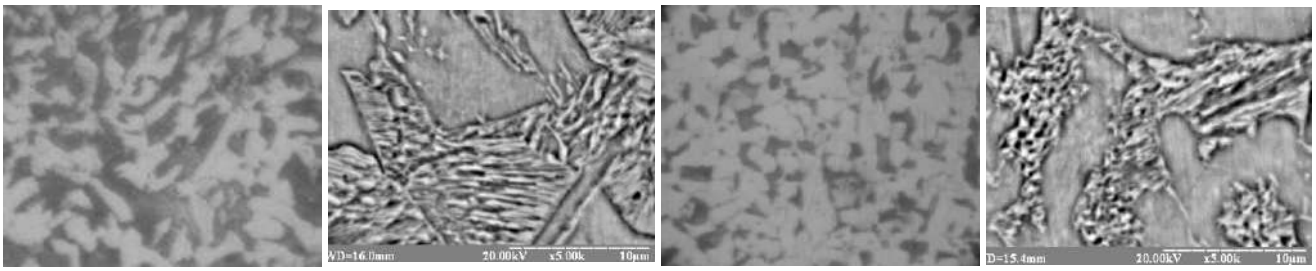


а б

Рис. 2. Влияние модифицирования наночастицами железа на аустенитную структуру стали 25ГСЛ при 900 °С:
а – исходная сталь;
б - модифицированная сталь.
Увеличение х 300.

Размер зерен аустенита уменьшается в -1,2-1,8 раза, а коэффициент формы на 20-22 %.

Микроструктура сталей после нормализации от 900 °С показана на рис. 3.



а б в г

Рис. 3. Влияние модифицирования наночастицами железа на микроструктуру стали 25ГСЛ после нормализации от 900 °С: а, б – исходная сталь; в, г - модифицированная сталь. Увеличение: а, в - 300; б, г – 5000

Анализ микроструктуры модифицированной стали после нормализации от 900 °С показывает, что по сравнению с исходной сталью наблюдается уменьшение содержания перлита с 52 % до 38 % и увеличение количества феррита с 48% до 62%. Размер зерен перлита понижается в 1,9 - 2,1 раза, а коэффициент формы с 1,9 до 1,6.

В заключении следует отметить, что при модифицировании стали 25ГСЛ наночастицами железа наблюдается изменение формы цементита с пластинчатой (рис. 3б) на глобулярную (рис. 3г).

Список літератури

1. Патент України на корисну модель №70084 «Спосіб модифікування металів і сплавів наночастинками», МПК С22С 35/00 / С. М. Перегіняк, Є.Г. Афтанділянц, К. Г. Лопатько. - Опубл. 25.02.2012. Бюл. № 10.

УДК. 536:539.21:621:664:669.01 (075)

Є. Г. Афтанділянц

Національний університет біоресурсів и природокористування України, Київ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКАЛИНЫ ВОДОРОДОМ

Удаление окалины со стальных изделий является актуальной проблемой металлургического и литейного производства. Окалина на стальных изделиях

состоит в основном из оксидов (FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4) и гидроксидов ($FeO(OH)*nH_2O$) железа

Обработка стальных изделий водными растворами серной или соляной кислот является одним из распространённых методов удаления окалины. Однако такое производство является экологически опасным, поскольку сопровождается испарением серной и соляной кислот, а также образованием, в результате взаимодействия кислот с оксидами железа, сульфидов и хлоридов железа, которые загрязняют окружающую среду.

Восстановление окалины на изделиях из стали путем обработки окисленной поверхности водородом является экологически чистой технологической операцией, поскольку в результате взаимодействия оксидов железа с водородом происходит образование железа и воды в результате реализации следующих реакций:

$$FeO + H_2 = Fe + H_2O, \quad (1),$$

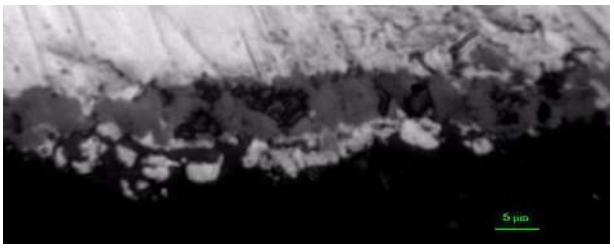
$$Fe_2O_3 + 3H_2 = 2Fe + 3H_2O, \quad (2),$$

$$Fe_3O_4 + 4H_2 = 3Fe + 4H_2O, \quad (3).$$

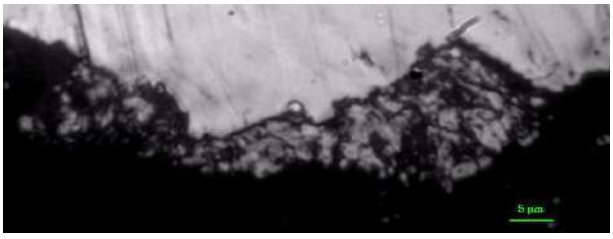
Исследование влияния времени обработки стальной окисленной поверхности водородом (τ, мин) на степень восстановления оксидов железа (R,%) показало, что в течение 2 минут наблюдается восстановление 15 % оксидов (рис. 1а), 3 минут – 25% (рис. 1б), 5 мин – 40% (рис. 1в) оксидов. Закономерность влияния времени обработки водородом на степень восстановления окалины характеризуется следующей зависимостью

$$R = 8{,}03 \cdot \tau, \ r=0{,}999, \quad (4),$$

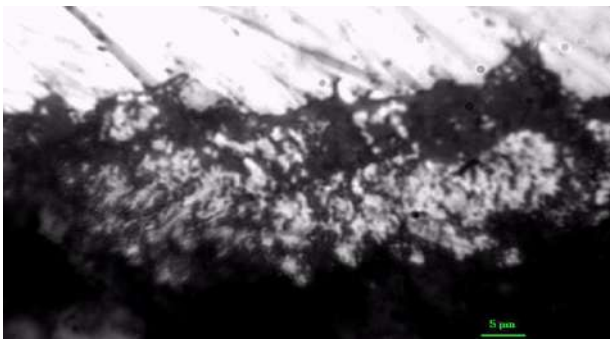
где r – коэффициент парной корреляции.



а



б



в

Рис. 1. - Влияние времени обработки (τ, мин) стальной окисленной поверхности водородом на степень восстановления окалины (R, %):

а - τ = 2 мин, R =15%;

б - τ = 3 мин, R =25%;

в - τ = 5 мин, R =40%.

Графическое изображение аналитической зависимости 4 показано на рис. 2

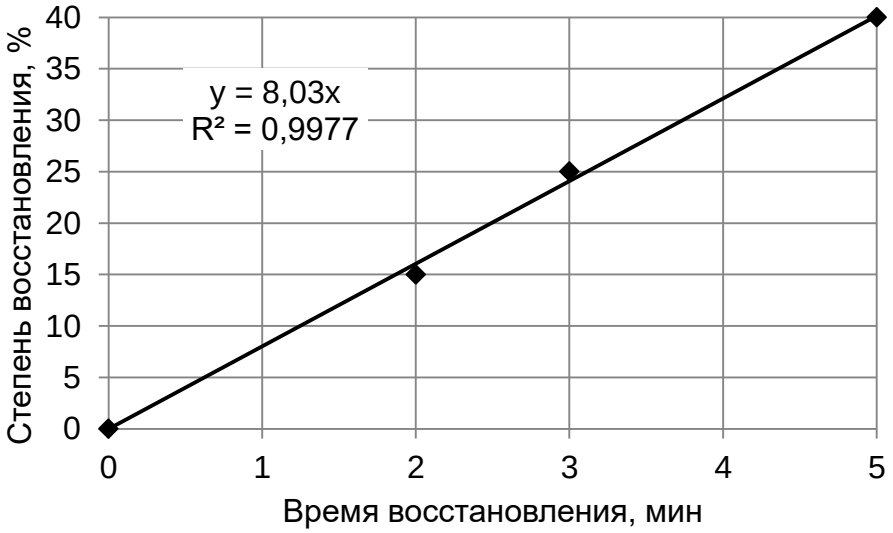


Рис. 2- Закономерность влияния времени на степень восстановления окалины водородом

Анализ результатов выполненных исследований показывает, что обработка окисленных стальных поверхностей водородом является эффективным экологически чистым способом восстановления окалины на изделиях. Для повышения производительности способа необходимо проведение исследований по оптимизации параметров процесса с целью сокращения времени обработки.

УДК 621.74

К.Э. Барановский, Е.В. Розенберг, И.Б. Саленко

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

КРАСКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ С КОМПЛЕКСНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Одну из ведущих ролей в формирования свойств в краски для литья по газифицируемым моделям играют термостойкие наполнители. Именно поэтому термостойкий наполнитель для красок представляет собой многокомпонентную систему, в состав которой входят термостойкие составляющие и технологические добавки для повышения газопроницаемости, поглощения жидкой фазы при деструкции полистирола и др. Наполнители являются противопригарной основой покрытий и представляют собой порошкообразные полидисперсные материалы из минерального сырья, главным образом природные огнеупорные оксиды, силикаты и т.д.При выборе наполнителей для противопригарных покрытий необходимо учитывать их положительное действие только в определенном интервале температур и для конкретного вида литья

В настоящее время отсутствует универсальный состав огнеупорного покрытия, который мог бы использоваться при изготовлении отливок разной массы из различных сплавов. Поэтому современные тенденции развития противопригарных красок для литья по газифицируемым моделям предполагают применение комплексного термостойкого наполнителя, состоящего из нескольких компонентов.Важную роль в получении качественных отливок при литье по газифицируемым моделям играет парогазовый режим формы, формируемый газопроницаемостью покрытия. В работе [1] приведены значения газопроницаемости покрытий.

Наибольшей газопроницаемостью обладает покрытие из дистен-силлимонита, это обусловлено тем, что его частицы представлены в виде тонких пластинок, что при нанесении покрытия дает большое количество открытых пор.

Покрытие из Al_2O_3 обеспечивает среднюю газопроницаемость за счет характерной формы частиц – округлых конгломератов.

Наименьшей газопроницаемостью обладает покрытие из циркония ($ZrSiO_4$), это объясняется его колотой формой и наличием большого количества мелких

частиц. В совокупности с самой большой насыпной плотностью 2,4 г/см^3, циркон дает самую плотную поверхность нанесённого покрытия, препятствующую проникновению газов.

В состав термостойкого наполнителя также могут входить небольшие количества технологических добавок, придающих специальные свойства краскам. Диатомит, который при не высокой термостойкости обеспечивает резкое увеличение газопроницаемости за счет своей формы частиц, а также «впитывание жидкой фазы» при деструкции полистирола.Вкрасках используемых для литья сталей можетиспользоваться доломит (минерал из класса карбонатовхимического состава $CaCO_3$•$MgCO_3$) как технологическая добавка, которая при заполнении формы металлом диссоциирует с выделением CO_2, что создает окислительную атмосферу и способствует образованию легкоудаляемого пригара на поверхности сложных или крупных отливок повышая их качество.

Количество наполнителей в красках для литья по газифицируемым моделям находятся в пределах 55 - 65 %. Из опыта использования комплексного наполнителя можно сделать следующие выводы:краски без циркона при литье стали не обеспечивают требуемую термостойкость (наличие пригара обычно на крупных отливках и в тепловых узлах), без технологических добавок получить качественную поверхность отливок сложно, наполнители с высокой термостойкостью (циркон, дистен-силлиманит, оксид алюминия) обеспечивают получение отливок без пригара.

Комбинация вышеназванных материаловпозволяет получать комплексное термостойкое покрытие для литья по газифицируемым моделям с наилучшими свойствами, так как предложенные материалы обладают высокой термостойкостью и разной степенью газопроницаемости, что позволяет, методом комбинации компонентов, добиться нужной газопроницаемости покрытия под конкретные условия производства.

Список литературы

1. Шинский И.О. Современные направления совершенствования противопригарных покрытий для технологии литья по газифицируемым моделям (ЛГМ-процесс) / И.О. Шинский, О.И. Шинский, В.С. Дорошенко // «Литье Украины». – 2014 – http://zno.znaimo.com.ua/docs/3865/index-11473.html.

УДК 621.78.08:66.045.5

В.И. Белик, А.Г. Пригунова, Л.М. Шеневидько, Т.Г. Цыр, М.В. Кошелев

Физико-технологичекский интситут металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

Тел.: 0444241150, e-mail: belikvi@ukr.net

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБРАЗЦА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО МЕТОДИКЕ «СТОП-ЗАКАЛКА»

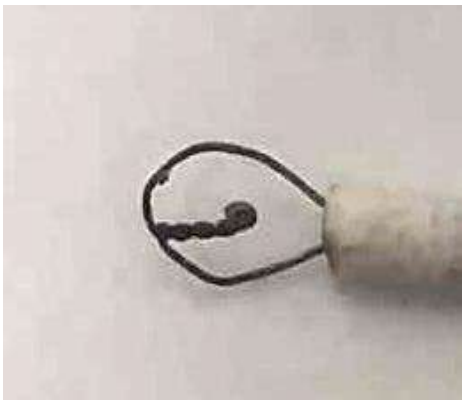
Для изучения характера фазовых превращений и морфологии фаз, сформировавшихся на различных этапах кристаллизации сплава, используется метод «стоп-закалка», заключающийся в быстром охлаждении образца, выдержанного в печи при заданной температуре в интервале кристаллизации [1]. Для подтверждения обоснованности использования этого метода в исследованиях процесса кристаллизации представляет интерес измерение скорости охлаждения в реальных условиях эксперимента.

Эксперименты проведены на образцах, представляющих собой гранулы алюминия массой 0,2 г.. Разрезанную надвое гранулу расклёпывали до образования пластины толщиной примерно 1,5 мм и сгибали вдвое. Для закрепления спая термопары внутри образца, проволоку со спаем выдвигали из соломки, раздвигали, формируя кольцо диаметром 4 - 5 мм со спаем в центре кольца (рис. 1, а), помещали кольцо между согнутыми пластинами и опрессовывали плоскогубцами. Образец с впрессованной термопарой нагревали в печи до заданной температуры. Благодаря прочности оксидной пленки и силам поверхностного натяжения капля расплава удерживалась на кольце из термопарной проволоки. Закалку производили в воде с записью кривой охлаждения, используя ХА термопару с толщиной проволоки 0,1 мм.

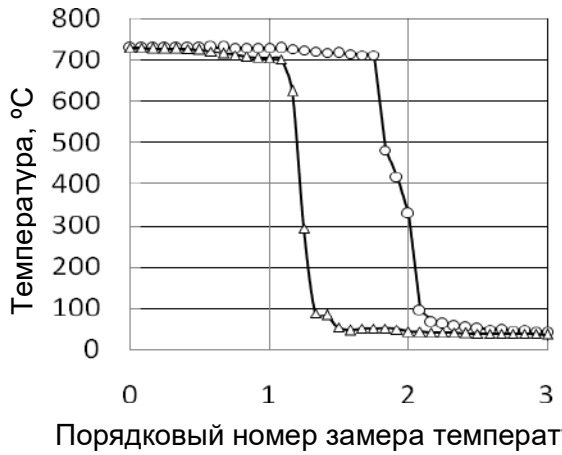
Для выявления возможных отличий во времени, при котором наблюдается перегиб на кривой зависимости температура – время (рис. 1, б), соответствующий изменению скорости охлаждения, и фактического момента погружения образца в воду, производили видеозапись процесса закалки.

Момент погружения образца в воду, то есть закалки, установленный по видеозаписи с частотой 13-15 кадров в секунду, совпадает с положением перегиба на зависимости температура – время (см. рис. 1, б) в пределах одного временного

интервала измерения температуры – 0,833 с. Расчет скорости охлаждения производили по двум вариантам.



а



б

Рис.1 – Кольцо для крепления образца (а) и кривые охлаждения образцов (б)

В одном из них за начальный момент времени взята точка перегиба на кривой зависимости температура - время, в другом - следующая за ней точка замера температуры. Поскольку цель методики «стоп-закалка» - фиксация структуры в интервале затвердевания, то именно в этом температурном интервале следовало бы замерять и скорость охлаждения. Однако частота замеров температуры, которая обеспечивается имеющейся аппаратурой, является недостаточной при тех скоростях охлаждения, которые имели место в экспериментах: температура от точки перегиба (момент погружения образца в воду) снижается за один временной интервал замера температуры более, чем на двести градусов, что превышает интервал затвердевания большинства сплавов.

С учетом возможных погрешностей определения времени начала закалки на кривой зависимости температура – время в процессе охлаждения образцов (см. рис.1, б) установлено, что минимальная и максимальная скорости охлаждения при использовании методики «стоп-закалка» находятся в диапазоне от 1800 до 3700 ºС/с, что является достаточным для фиксирования фазовых превращений и морфологии фаз на различных этапах кристаллизации сплава [1].

Список литературы

1. *Пригунова А.Г.* Механизм нейтрализации вредного влияния железа в силуминах микродобавками марганца и хрома // Металлофизика и новейшие технологии. - 1998. - Т. 20. - № 12. - С.25 - 32.

УДК 621.744

Berlizeva T., Ponomarenko O., Shvets M.
National Technical University
Kharkov Polytechnic Institute, Kharkov

DEVELOPING PROGRESSIVE RODS PRODUCTION TECHNOLOGIES TO PRODUCE HIGH-QUALITY CASTING

The foundry rod, which is used in the foundry, is a part of the molded form. It mainly processes internal cavities of castings. In cases where the configuration of the casting model makes it difficult to extract it from the mold, the casting rod is also used to form the outer parts of the casting. Foundry rods are manufactured on rod machines, from special core mixtures, followed by drying or curing, including directly in rod boxes.

In modern conditions of the development of foundry production for the preparation of thin-walled castings of internal cavities and pudnutreny are used salty-waders of salt rods. One of the advantages of salt bars is that they do not need to be knocked out, that is, they can easily be removed from the finished part. The following requirements apply to such rods: they must have good bending strength, compressive strength, good fluidity, small shrinkage, and a qualitative surface of the casting.

The main task is to develop progressive technologies for manufacturing rods based on a salt composition using Recril Slow Set C binder and Dursil C1 hardener, since their application will allow the production of high-quality castings and improve the state of the environment. For this purpose, the following tasks were set:

- to study the current state of the question on designing the technological process of obtaining salt bars;

- to study the properties of salt rods based on the use of methods for determining the strength of compression, flattening, durability and residual strength of mixtures.

- to experimentally determine and establish the patterns of build-up of the strength of the mixture, the patterns of change in residual strength, viability and moisture content using a binder Recril Slow Set C and a Dursil C1 hardener.

The mathematical models of the properties of the mixtures were developed on the basis of the planned experiment using Recril Slow Set C binder and Dursil C1 hardener,

optimizing their composition, which improved the quality of aluminum castings in the foundry industry.

УДК 621.74:669.131.7

Д. М. Берчук, В. Б. Бубликов, В. О. Овсянников

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

Тел.: (*+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com*

КОВШОВЕ ТА ВНУТРІШНЬОФОРМОВЕ ГРАФІТИЗУЮЧЕ МОДИФІКУВАННЯ

В результаті диспергування металевої основи забезпечується поліпшення механічних характеристик, таких як міцність, пластичність, ударна в'язкість. Одним з способів подрібнення структури, які широко застосовуються на практиці, є модифікування. Перехід з ковшового на внутрішньоформове модифікування, завдяки більш високому рівню модифікуючого впливу останнього на структуроутворення, дозволяє ефективніше впливати на ступінь графітизації і дисперсність структури, підвищуючи пластичність високоміцного чавуну. Подрібненню структури також сприяє збільшення швидкості охолодження. Вплив швидкості охолодження на подрібнення структури обмежений утворенням цементиту при кристалізації виливків. У поєднанні з високою графітизуючою здатністю пізнього модифікування швидкість охолодження дозволяє розширити діапазон управління структуроутворенням високоміцного чавуну.

Високий ступінь графітизації структури при внутрішньоформовому модифікуванні пояснюється з одного боку ефектом пізнього наближеного до кристалізації модифікування, а з іншого боку наявністю у складі досліджених модифікаторів хімічно активних лужноземельних елементів другої групи періодичної системи Менделєєва (Ca, Ba, Mg), які малорозчинні в залізі. Вказані елементи утворюють стійкі хімічні сполуки з такими шкідливими домішками високоміцного чавуну як сірка, кисень, азот, водень, та очищують від них міжфазні границі. Деякі з хімічних сполук, що утворюються, включаючи оксиди і силікати Ca, Ba, Mg, сприяють утворенню додаткових ефективних центрів кристалізації кулястого графіту.

Порівняльні дані інокулюючої здатності модифікаторів при ковшовому і внутрішньоформовому модифікуванні наведено на рис. 1. При швидкості

охолодження 4,3 °С/с, що відповідає товщині перерізу виливка 5 мм, в умовах ковшового модифікування FeSiBa збільшується кількість включень кулястого графіту, в порівнянні з FeSi, в 1,4 рази.

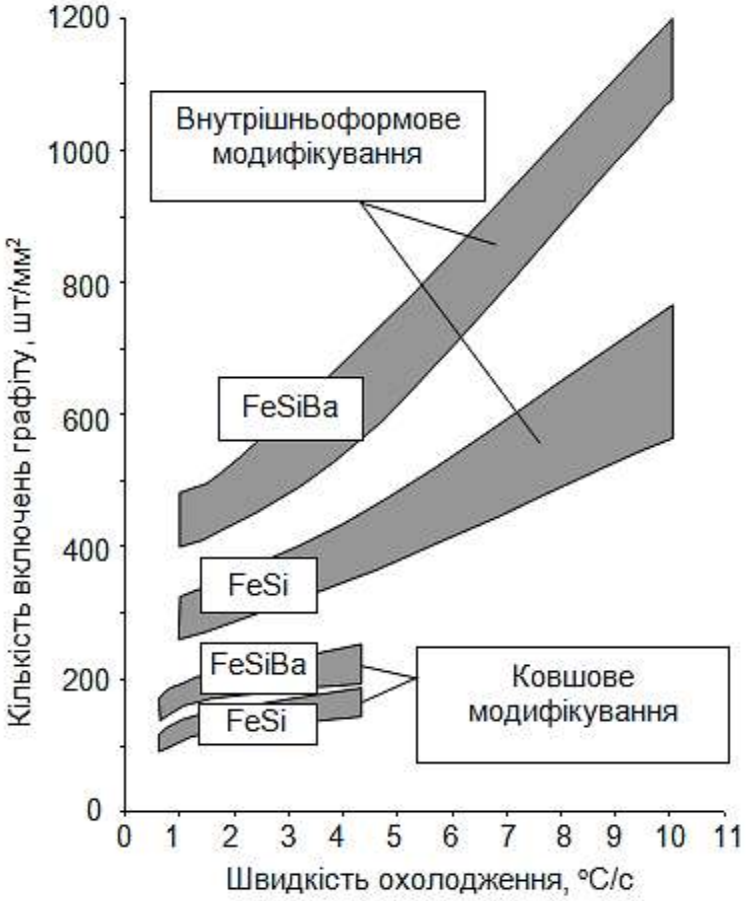


Рис. 1 – Вплив модифікаторів і швидкості охолодження на кількість включень кулястого графіту у виливках з високоміцного чавуну після ковшового та внутрішньоформового графітизуючого модифікування

Застосування внутрішньоформового модифікування збільшує кількість включень кулястого графіту в 2 рази при модифікуванні FeSi і більш ніж в 2,5 рази при модифікуванні FeSiBa. Зі збільшенням швидкості охолодження з 4,3 до 10,5 °С/с (товщина перерізу виливка 5 та 2,5 мм, відповідно) ефективність ковшового графітизуючого модифікування недостатня для запобігання утворенню цементитної фази при кристалізації, тоді як графітизуюче внутрішньоформове модифікування ефективно запобігає утворенню вибілу у виливках з мінімальною товщиною стінок 2,5 мм. При цьому інокулююча дія FeSiBa в 1,5-1,7 рази більша, ніж FeSi.

УДК 621.746.6:542.65

А.Г. Борисов

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

Тел: 044-424-11-50, e-mail: wwwrogneda@ukr.net

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НЕДЕНДРИТНОЙ СТРУКТУРЫ

Недендритная морфология кристаллов в отливке является характерной для методов реолитья. Однако механизм процессов, приводящих к такой структуре, на настоящий момент не раскрыт. Были выполнены три серии экспериментов по заливке сплава АК7ч в различных условиях, которые позволили вычленить ключевой момент доля получения недендритной структуры. В первой серии расплав различного перегрева заливался в небольшой стальной кокиль (прямой термический метод реолитья). При перегревах выше 10 C^0 результирующая структура была дендритной, ниже – недендритной. Во второй серии перегретый на 40 C^0 расплав заливался в небольшой графитовый тигель, который помещался в минеральную вату для замедления скорости охлаждения. В момент снятии перегрева до 4 C^0 в некоторых образцах расплав механически перемешивался, что приводило к недендритной структуре отливок. Без перемешивания структура отливок была дендритной. Для третьей серии была изготовлена специальная форма, которую можно было заполнять плавным погружением в расплав, пре этом охлаждение боковых стенок обеспечивало кристаллизацию внутри формы в погружённом состоянии. Погружение осуществлялось в ванну расплава с различным перегревом – 40 C^0 и 5 C^0 , также эта форма ставилась вертикально и заливалась аналогично первой серии расплавом с указанными перегревами. При плавном погружении в расплав (отсутствии интенсивного перемешивания) при всех перегревах структура была дендритной, при заливке – аналогично первой серии – при перегреве 40 C^0 структура была дендритной, а при 5 C^0 - недендритной. Полученные результаты говорят о том, что для формирования недендритной морфологии необходим поток (перемешивание) расплава в момент начала кристаллизации независимо от того, создаётся он принудительно или естественно в момент заливки. Роль температуры перегрева сводится к тому, успеет ли поток в расплаве затихнуть до того, как температура приблизится к ликвидусу.

УДК 621.74:669.715:620.186

Борисов, А. М. Недужий, А. Г. Пригунова

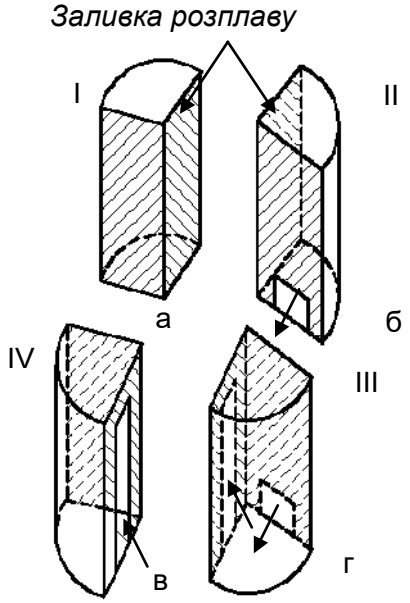
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

Тел./факс.: 0444246823, e-mail: onml@i.ua

ФОРМУВАННЯ НЕДЕНДРИТНОЇ СТРУКТУРИ ПЕРВИННОЇ ФАЗИ В СПЛАВІ АК7ч ПРИ ЗАЛИВЦІ РОЗПЛАВУ В ЛИВАРНУ ФОРМУ З РІЗНИМИ ЛИВНИКОВО-ЖИВИЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

На даний час в літературних джерелах немає єдиної думки щодо механізму формування недендритної структури в доевтектичних алюмінієвих сплавах. При цьому продовжують з`являтися нові гіпотези з цього питання. За однією з них у формуванні недендритної структури первинної алюмінієвої фази важливу роль відіграє рух розплаву. Враховуючи це, метою роботи є встановлення впливу потоку металу в формуванні недендритної структури первинної фази в ливарному сплаві марки АК7ч.

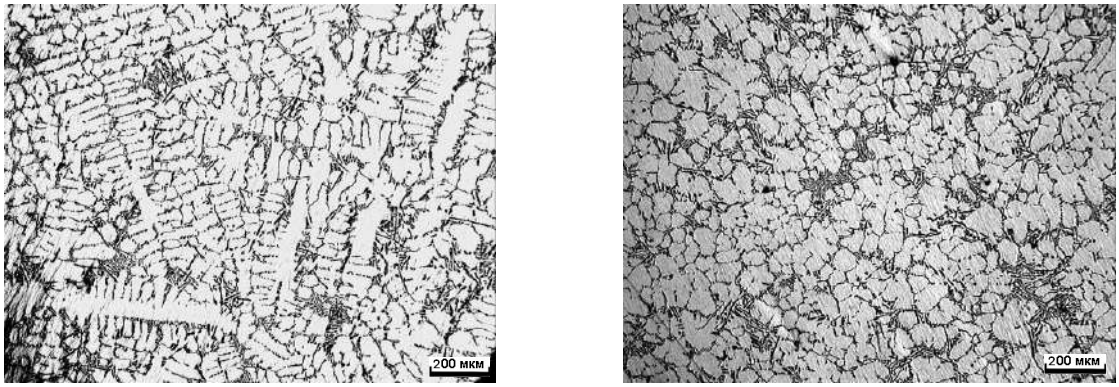
Розплав заливали в ливарну форму, в якій розміщено дві металеві перпендикулярні перегородки так, що порожнина форми розділена на чотири рівні за об'ємом відсіки, яким присвоєно номери від I до IV (рис. 1).



I – II – ливникова система з верхнім підведенням металу, II – III – з нижнім підведенням металу, III – IV – вертикально-щілинна ливникова система

Рис. 1 – Схема переміщення сплаву АК7ч по відсіках ливарної форми, яка об’єднує різні ливниково-живильні системи

Перший відсік ізольований і не сполучається з трьома іншими. Другий - сполучається з третім за допомогою живильника в нижній частині форми. Третій відсік сполучається з четвертим за допомогою вертикально-щілинного живильника. Розплав заливали в ливарну форму у високо- і низькоперегрітому станах. Установлено, що після заливки високоперегрітого розплаву у форму, структура первинної алюмінієвої фази (Al_α) у всіх чотирьох відсіках була дендритною (рис. 2 а). Середні значення дендритного параметра вказаної структури в центрі виливка, в середній його частині та в поверхневій зоні виливка становили: 37; 33 та 26 мкм відповідно.



а б

Рис. 2 – Вплив потоку металу на мікроструктуру сплаву АК7ч у відсіку IV при заливці розплаву з високим (а) та низьким (б) перегрівом в ливарну форму, яка об’єднує різні ливниково-живильні системи

Заливка розплаву у форму з низьким перегрівом сприяла утворенню в першому відсіку недендритної структури Al_α з розміром кристалів 50…110 мкм. У другому відсіку форми структура також є недендритною і схожа на розеткоподібну. В центральній частині зразка третього відсіку утворилася переважно дендритна структура первинної α-фази з середнім значенням дендритного параметра 35 мкм. У середній частині цього ж зразка структура Al_α є недендритною, з розеткоподібними кристалами розміром 200…300 мкм. У четвертому відсіку форми утворилася недендритна глобулярна структура первинного алюмінію з розміром глобуля 50…100 мкм (рис. 2 б).

Таким чином, встановлено, що після заливки низькоперегрітого сплаву в форму з різними ливниково-живильними системами (з верхнім підведенням металу, з нижнім підведенням та вертикально-щільової), потік сплаву, який утворюється при

проходженні металу через систему живильників і омиванні холодних стінок кокілю, приводить до формування недендритної структури первинного розчину алюмінію у виливку.

УДК 621.74:669.131.7

В. Б. Бубликов, Д. М. Берчук

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

Тел.: (*+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com*

ВНУТРІШНЬОФОРМОВЕ МОДИФІКУВАННЯ ЧАВУНУ МАГНІЙ-КАЛЬЦІЄВОЮ ЛІГАТУРОЮ

Прогресивним напрямом розвитку технологій високоміцного чавуну є підвищення ефективності модифікування шляхом застосування пізнього внутрішньоформового модифікування в проточних реакторах, розташованих в ливниковій системі. У порівнянні з ковшовим, модифікування в ливарних формах характеризується більш високою екологічністю, технологічністю і економічністю. Модифікування безпосередньо в ливарній формі є екологічно чистим процесом, в результаті якого забезпечується перехід з лігатури в рідкий метал від 70 до 85 % Mg при скороченні до мінімуму тривлості часу від початку модифікування до кристалізації розплаву. Одночасно з цим внутрішньоформове модифікування забезпечує найбільш оптимальне для властивостей високоміцного чавуну структуроутворення, що дозволяє отримувати тонкостінні виливки без високотемпературного графітизуючого відпалу.

Дослідження проводили з використанням залізо-кремній-магній-кальцієвої лігатури ЖКМК-4. Кальцій є більш активним десульфуратором і розкислювачем, ніж магній, через що покращується модифікуюча та рафінуюча здатність лігатури. Швидкість розчинення магній-кальцієвої лігатури залежить від в’язкості і температури шлаку, що утворюється при її плавленні та перешкоджає проникненню рідкого металу в засипку лігатури і уповільнює процеси тепломасообміну між нею та розплавом. Для покращення умов міжфазної взаємодії між розплавом чавуну і лігатурою застосовували присадку реагенту, що ефективно знижує в’язкість шлаку, який утворюється.

Розплав чавуну, модифікований у відцентровому реакторі ливарної форми, розділяли на дискретні проби, які послідовно відливали у іншій сирій піщано-глиняній ливарній формі, що переміщали на візку. Заливання стандартних клиноподібних проб з товщиною основи 15 мм відбувалося розплавом, що мав температуру 1380 або 1480 °С [1].

При заливанні розплаву з температурою 1380 °С спостерігається повільний, наближений до лінійного, перехід Mg і Si в чавун впродовж всього процесу модифікування. Вмісти Mg і Si в дискретно відлитих пробах варіюються при цьому в діапазонах, відповідно, 0,024-0,048 % і 2,02-2,37 % та характеризуються низькими для проведених дослідів середніми значеннями (відповідно, 0,036 % і 2,2 %).

При заливанні розплаву з температурою 1480 °С умови для розчинення магній-кальцієвої лігатури поліпшуються і досягається повне розчинення всієї дози лігатури. В пробах, які заливаються останніми, спостерігається підвищення вмісту Mg до 0,071 %, а Si до 2,72 %. Середній вміст цих елементів у сукупності відлитих проб найвищий в проведених дослідах і становить 0,05 і 2,43 %, відповідно.

Таким чином експериментально доведено, що підвищення температури розплаву покращує тепломасообмін між лігатурою і розплавом та підвищує швидкість розчинення магній-кальцієвої лігатури. Також, підвищення температури є необхідною умовою для покращення рідкотекучості в умовах прискореного тепловідведення при одержанні тонкостінного литва.

Список літератури

1. *Берчук Д. Н., Бубликов В. Б.* Исследование особенностей процессов внутриформенного модифицирования чугуна магниевыми лигатурами Fe-Si-Mg (ФСМг-7) и Fe-Si-Mg-Ca (ЖКМК-4) // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2009.- № 1(15).- С. 55-59

УДК 669.162.275:620.17

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, А. А. Ясинский

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

Тел.: (+38044) 424-00-50; e-mail:otdel.vch@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТНОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Для изготовления ряда деталей современной техники требуются высокопрочные чугуны с временным сопротивлениемпри разрывеσ$_B$= 500-600 МПа и относительным удлинением δ = 10-15 %. Поэтому возникает необходимость разработки специальных марок с более высокими показателями прочности и пластичности,по сравнению с ВЧ450-5 или ВЧ500-7(ДСТУ3925-99) с ферритно-перлитной металлической основой, занимающих по показателям механических свойств промежуточное положение между регламентируемыми стандартом марками высокопрочных чугунов ферритного и перлитного классов. Указанные более высокие механические свойства могут быть достигнуты при металлической основе, состоящей из находящихся в определенном соотношении количеств феррита и перлита, или при ферритной металлической основе, упрочненной легированием.

Целью настоящей работы являлось определение технологических решений получения высокопрочного чугуна сσ$_B$ = 500-600 МПа и δ = 10-15 %.

Чугун выплавляли в электропечи ИСТ-0,16 из чушкового литейного чугуна марки ЛР6, рафинированного продувкой магнием, с содержанием 0,011-0,014 % серы и 0,060-0,072 % фосфора.Модифицирование проводили комплексным модификатором ЖКМК-4РБа.Механические свойства высокопрочного чугуна в литом состоянии и после термической обработки определяли на образцах, вырезанных из клиновидных проб с толщиной основания 15 мм и массой 4,85 кг.

В результате переплава рафинированного чушкового чугуна марки ЛР6 и модифицирования комплексным модификатором, содержащим наряду с магнием и кремнием дополнительные высокоэффективные модифицирующие элементы (кальций, РЗМ, барий),получен высококачественныйвысокопрочный чугун с низким содержанием серы и других вредных примесей.Структура металлической основы нелегированного и легированного никелем высокопрочных чугунов в литом состоянии была практически ферритной. А в высокопрочном чугуне, легированном

медью, количество перлита составляло ~20 %. Это обусловило благоприятное соотношение прочностных и пластических свойств исследуемых чугунов в литом состоянии (см. таблицу). В литом состоянии легирование 0,5 % Ni незначительно повышает прочностные показатели (σ_B, $\sigma_{0,2}$) и несколько снижает относительное удлинение (δ).Значительно эффективнее проявляется легирование 0,5 % Cu, в результате которогоσ_Bвысокопрочного чугунаувеличивается с 500 до 595 МПа, $\sigma_{0,2}$– с 365 до 420 МПа при снижении δ с 23,4 до 17,0 %.

Количество перлита в металлической основе и механические свойства исследованных высокопрочных чугунов в литом состоянии

Вид высокопрочного чугуна	Количество перлита, %	Механические свойства		
		σ_B, МПа	$\sigma_{0,2,}$ МПа	δ, %
1. Нелегированный	3	500	365	23,4
2. Легированный 0,5 % никеля	6	505	376	20,5
3. Легированный 0,5 % меди	20	595	420	17,2

Для повышения прочностных показателей ферритного высокопрочного чугуна разработана специальная термическая обработка – гомогенизирующий отжиг с охлаждением из трехфазной зоны, состоящей из аустенита, феррита и графита, которая образуется в соответствии с тройной диаграммой состояния Fe-C-Si, и под влиянием кремния интенсивно расширяется, а ее температура повышается [1].После термической обработки механические свойства легированного никелем высокопрочного чугуна находятся в следующих пределах: σ_B=580-610 МПа, $\sigma_{0,2}$=410-435 МПа, δ=17-19 %. В легированном медью высокопрочном чугуне прочностные показатели значительно выше (σ_B = 670-720 МПа, $\sigma_{0,2}$=450-475 МПа при δ=11-16 %), что с учетом значительно меньшей стоимости меди, по сравнению с никелем, позволяет рекомендовать ее для упрочняющего легирования высокопрочного чугуна.

Список литературы

1. Справочник по чугунному литью. / Под ред. *Н. Г. Гиршовича*. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.

УДК 669.162.275:669.7

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинський, Д. М. Берчук, О. О. Ясинський

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

Тел.: *(+38044) 424-00-50, e-mail: otdel.vch@gmail.com*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ МАГНІЄВИХ ЛІГАТУР І МЕТОДІВ МОДИФІКУВАННЯ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Отримання з високоміцного чавуну виливків без вибілу з оптимальним поєднанням міцнісних характеристик і пластичності – це вимога сьогодення для випуску надійної, довговічної та конкурентоспроможної продукції.

Покращення структуроутворення можливо досягнути підвищенням ефективності модифікування. Проведені дослідження границь можливого впливу складу магнієвих лігатур та їх витрати на структуроутворення, співвідношення ферит/перліт в металевій основі, зміну стану границь зерна та інші фактори, які при кулястій формі графіту визначають рівень механічних властивостей високоміцного чавуну.

Досліджували комплексні феросиліцій-магнієві лігатури типу ФСМг та залізо-кремній-кальцієві лігатури типу ЖКМК. В залежності від складу, досліджені комплексні модифікатори відрізняються за впливом на схильність до утворення вибілу і співвідношення ферит/перліт в металевій матриці. З підвищенням витрати модифікаторів підвищується схильність до утворення вибілу, збільшується кількість перліту, в результаті підвищення в чавуні вмісту магнію, барію і РЗМ, а кількість включень графіту суттєво зменшується. Збільшення кількості включень графіту корелюється зі зменшенням схильності до вибілу і підвищенням ступеню феритизації металевої основи.

З досліджених комплексних модифікаторів найбільш ефективним десульфуратором чавуну та за модифікуючою дією на утворення при кристалізації кулястого графіту є лігатура марки ЖКМК4Р, яка відрізняється від лігатур типу ФСМг високим вмістом кальцію. Поряд з підвищенням ступеню графітизації чавуну і феритизації металевої основи, кальцій сприяє очищенню, рафінуванню розплаву від шкідливих домішок (сірки, кисню та ін.). Максимальні показники механічних властивостей для кожного з модифікаторів досягаються при ССГ більше 85 %:

найбільше значення тимчасового опору при розтягуванні отримано при модифікуванні лігатурою марки ЖКМК4Р, тоді як найвище відносне подовження – при модифікуванні лігатурою марки ФСМг7.

У порівнянні з ковшовим, при внутрішньоформовому модифікуванні внаслідок зменшення проміжку часу між модифікуванням і кристалізацією розплаву інтенсифікується інокуляція та в 3...6 разів підвищується щільність розподілу в структурі включень кулястого графіту, що скорочує шляхи дифузії вуглецю з аустеніту до графітових включень і забезпечує збільшення кількості фериту в металевій основі в 2,5...5,0 раз. За таких умов у виливках формується подрібнена структура без включень евтектичного цементиту з переважно феритною металевою основою із заданим рівнем механічних властивостей без застосування термічної обробки.

Створення в протокових реакторах режиму відцентрового руху, на відміну від прямоточного, активує розмивання модифікатора та прискорює утворення рухомого рідко-твердого середовища, в якому відбувається інтенсивний тепломасообмін. Об'ємний характер міжфазної взаємодії забезпечує високий рівень насичення розплаву чавуну модифікуючими елементами в початковий момент заливання. Застосування відцентрового реактора дозволяє збільшити ступінь його заповнення лігатурою з 50 до 75 % і, відповідно, підвищити вихід придатного литва. Процес модифікування менш чутливий до коливань технологічних параметрів і дозволяє на 30-50 % збільшити перехід магнію та кремнію з лігатур типу ФСМг у метал виливка з високоміцного чавуну.

В протокових реакторах одночасно проходять процеси модифікування, мікролегування і рафінування за рахунок вмісту додаткових модифікуючих елементів у складі FeSiMg лігатур. Було встановлено, що в процесі рафінування рідкого чавуну Mg, Ca і РЗМ більш активно вступають в реакцію з сіркою і газами (O, N, H), ніж з основними компонентами чавуну (Fe, Mn, Si, C, P), утворюючи неметалеві включення. При взаємодії лігатур з чавуном в першу чергу відбувається видалення кисню, потім сірки, азоту і водню.

УДК 669.162.275:620.17

В. Б. Бубликов, Ю. Д. Бачинский, С. Н. Медведь, Н. П. Моисеева

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

Тел.: (+38044) 424-00-50; e-mail: otdel.vch@gmail.com

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ВНУТРИФОРМЕННЫМ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ

Одним из эволюционных этапов развития технологий высокопрочного чугуна стало создание метода модифицирования расплава в полости литейной формы («in-mold» процесс). Процесс обработки расплава магнийсодержащими лигатурами в литейной форме протекает без пироэффекта и дыма, устраняется потеря эффекта модифицирования. В результате минимизации интервала времени между модифицированием и началом кристаллизации расплава значительно увеличивается количество включений шаровидного графита, интенсифицируется графитизация структуры, что способствует снижению склонности к образованию отбела, уменьшению усадки и улучшению обрабатываемости резанием. Полученная в отливках диспергированная структура высокопрочного чугуна способствует повышению механических свойств.

Методами статистического анализа проведено исследование закономерностей распределения структуры и механических свойств отливок из высокопрочного чугуна, получаемого внутриформенным модифицированием в условиях промышленного производства. Технология применяется для изготовления корпусных отливок с толщиной стенок от 4 до 15 мм. Микроструктура и механические свойства высокопрочного чугуна определялись на образцах металла из стенки толщиной 10 мм отливок, отобранных для контроля из каждой плавки.

Структура отливок состояла из графита шаровидной формы ШГф4, ШГф5 и ферритно-перлитной металлической основы. Плотность распределения включений шаровидного графита в структуре находилась в пределах 430-610 шт/мм^2, что в 4-5 раз больше, по сравнению с вариантом ковшового модифицирования. Вследствие этого при распаде аустенита значительно сокращаются пути диффузии углерода к графитным включениям, что обеспечивает повышение степени ферритизации металлической основы высокопрочного чугуна в отливках примерно в 2 раза.

В связи с тем, что металлическая основа состояла из двух структурных составляющих (феррита и перлита), рассматривали только распределение преобладающей из них, а именно феррита. Количество феррита варьировалось в диапазоне 55-95 % при среднем расчетном значении 75 %. Распределение контролируемых показателей механических свойств в анализируемой выборке плавок представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Распределение механических свойств ВЧ по плавкам

Показатель	Механические свойства			
	σ_B, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	НВ, ед.
Диапазон варьирования	464,8-607,5	342,4-457,5	8,6-20,0	160-210
Расчетное среднее содержание	538,9	398,2	13,4	185

Установлено, что в результате внутриформенного модифицирования, по сравнению с ковшовым, предотвращается образование структурно-свободного цементита в стенке отливки толщиной 4 мм. Вследствие измельчения структуры уменьшается межкристаллитная ликвация, увеличивается количество феррита в металлической основе, обеспечивается более оптимальное соотношение прочностных показателей (σ_B, $\sigma_{0,2}$) и относительного удлинения (δ). Высокая однородность структуры и снижение ее твердости НВ улучшают обрабатываемость отливок резанием.

Технология получения высокопрочного чугуна на основе применения внутриформенного модифицирования обеспечивает значительные преимущества, по сравнению с ковшевым модифицированием: расход магниевой лигатуры снижается в 2-2,5 раза; в результате отсутствия пироэффекта и выделения дыма из оксида магния радикально улучшается экология в литейном цеху; устраняется потеря эффекта модифицирования; кардинально улучшаются условия получения без отбела тонкостенных отливок с минимальной толщиной стенки 3-4 мм. Экономия от внедрения достигается за счет снижения расхода лигатуры, повышения выхода годного, улучшения качества и снижения брака отливок, ликвидации операции энергоемкого графитизирующего отжига, повышения служебных свойств изделий из высокопрочного чугуна.

УДК 669.131.7

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Е. А. Ясинская

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

Тел.: *(+38044) 424-00-50, e-mail: alexyasinskyi@gmail.com*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, ЛЕГИРОВАННОГО МЕДЬЮ

Для исследования влияния скорости охлаждения (толщины стенки отливки) на механические свойства отливок из высокопрочного чугуна, легированного 1,0; 2,0; 3,0 % Cu, были отлиты комплекты клиновидных проб (кильблоков) толщиной от 8 до 45 мм. Для получения в структуре отливок шаровидной формы графита применяли модифицирование в ковше магний-кальциевой лигатурой ЖКМК-4Р в количестве 2,5 % от массы жидкого чугуна. Содержание кремния в отливках находилось в пределах 2,60-2,95 %. Во всех трех вариантах легирования микроструктура клиновидных проб состояла из перлитной металлической основы (количество феррита не превышало 6 %) и шаровидного графита ШГф5, ШГф4 (ГОСТ 3443-87). Поэтому наблюдаемое отличие механических свойств отливок разной толщины определялось особенностями сформировавшейся тонкой структуры металлической основы и влиянием масштабного фактора, проявляющегося через степень ликвации, уровень микропористости, образование различных неоднородностей. Снижение механических свойств легированного медью высокопрочного чугуна с увеличением толщины стенки отливки (рис. 1) объясняется измельчением структуры, уменьшением ликвации, повышением дисперсности перлита в условиях ускоренного теплоотвода. По мере увеличения толщины отливки увеличиваются размеры зерна, усиливается ликвация примесей в межзеренное пространство, повышается неоднородность структуры, развивается микропористость, что в комплексе приводит к явлению, когда с увеличением толщины сечения отливки одновременно снижаются как прочность, так и пластичность. В условиях проведенного исследования прочность высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и перлитной металлической основой снижается с 950 до 750 МПа с увеличением толщины стенки отливки с 8 до 45 мм. При этом наблюдается также незначительное уменьшение относительного удлинения.

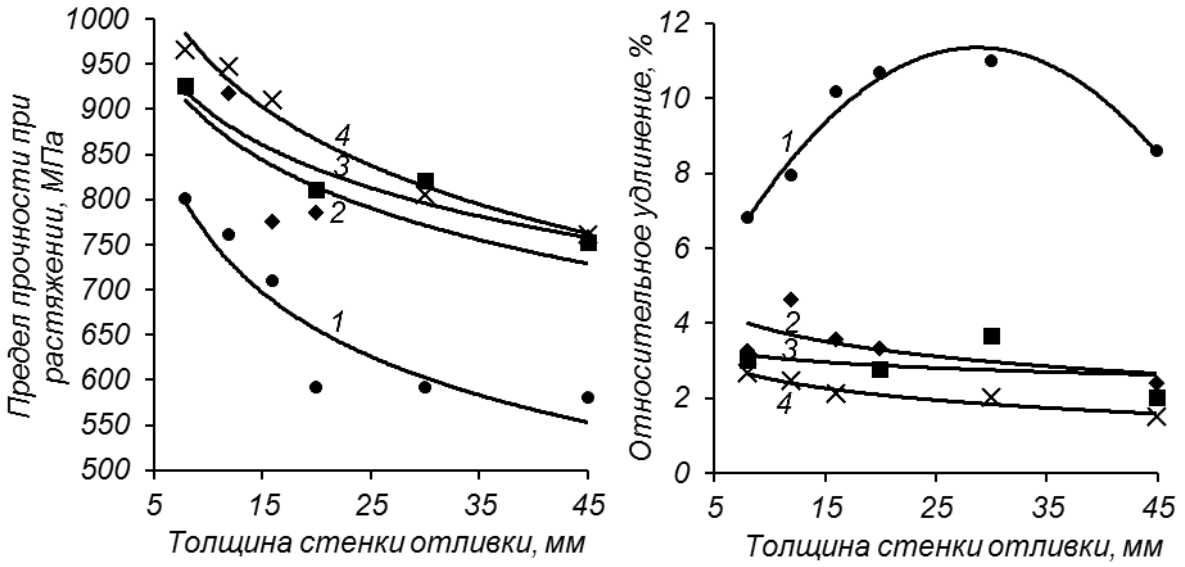


Рис. 1 – Влияние толщины стенки отливки на механические свойства исходного нелегированного (1) и легированного 1,0 % Cu (2), 2,0 % Cu (3), 3,0 % Cu (4) высокопрочного чугуна

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что, в условиях применения шихты обычного качества с содержанием 0,035 % S и широкоинтервального варьирования скорости охлаждения (толщина стенки отливки 8…45 мм), при ковшовом модифицировании расплава магний-кальциевой лигатурой ЖКМК-4Р и легировании медью до 3 %, в структуре отливок стабильно обеспечивается получение шаровидной формы графита ШГф5, ШГф4. Учитывая высокую стоимость меди и закономерности ее влияния на механические свойства высокопрочного чугуна, представляется рациональным ее применение для легирования в количестве до 1,0…1,2 %. При литье тонкостенных отливок содержание меди в высокопрочном чугуне может быть меньше.

УДК 669.131.7

В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Е. А. Ясинская

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

Тел.: *(+38044) 424-00-50, e-mail: alexyasinskyi@gmail.com*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, ЛЕГИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ

Для исследования влияния скорости охлаждения на механические свойства легированного никелем высокопрочного чугуна отливали клиновидные пробы (кильблоки) толщиной от 8 до 45 мм. Выплавку расплава проводили в электропечи ИСТ-016 на шихте из передельного чушкового чугуна марки ПЛ2 (70 %) и литейного чушкового чугуна марки Л2 (30 %). Модифицирование расплава проводилось в ковше лигатурой ЖКМК-4Р. Химический состав нелегированного высокопрочного чугуна (в мас. %): 3,4-3,7 C; 2,5-2,8 Si; 0,37-0,42 Mn; 0,015-0,025 S; 0,09-0,10 P; 0,023-0,037 Ti; 0,04-0,062 Mg.

Степень сфероидизации графита (ССГ) в отливках с толщиной стенки от 8 до 20 мм была более 90 %, а в отливках с толщиной стенки 30 и 45 мм значительно ниже – 86 и 83 %, соответственно. При увеличении толщины отливки (снижении скорости охлаждения) уменьшается количество перлита в металлической основе, снижаются временное сопротивление при растяжении σ_B и условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ (рис. 1). Относительное удлинение δ с понижением количества перлита в металлической основе сначала повышается, достигает максимума в отливках толщиной 20 мм и далее снижается в более медленно охлаждающихся отливках толщиной 30 и 45 мм.

Отмеченный характер изменения относительного удлинения можно объяснить следующим образом. В структуре отливок толщиной до 20 мм при ССГ > 90 % по мере уменьшения скорости охлаждения увеличивается количество феррита и соответственно относительное удлинение. В более медленно охлаждающихся отливках толщиной 30 и 45 мм, несмотря на увеличение количества феррита, величина относительного удлинения уменьшается как по причине снижения показателя ССГ, так и в результате действия масштабного фактора, проявляющегося как следствие большей степени развитости ликвации, пористости и

других несовершенств структуры.

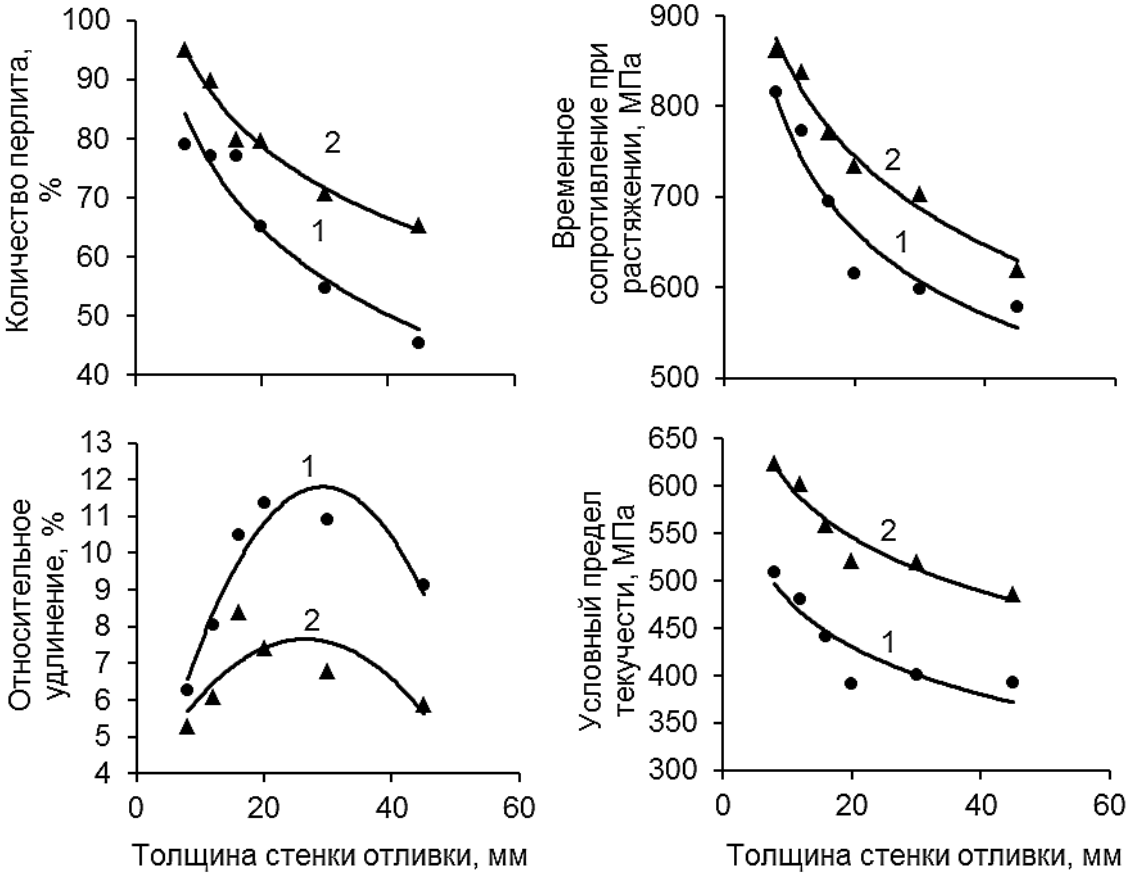


Рис. 1 – Влияние толщины стенки отливки на структуру и механические свойства исходного нелегированного (1) и легированного 1 % Ni (2) высокопрочного чугуна

По сравнению с нелегированным, в легированном 1 % Ni высокопрочном чугуне в исследованном диапазоне скоростей охлаждения увеличивается количество перлита в металлической основе, повышаются показатели σ_B, $\sigma_{0,2}$ и снижается δ. Высокопрочный чугун легированный никелем в отливках с толщиной стенки 20-30 мм имеет высокую прочность σ_B = 735-705 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 522-520 МПа и пластичность δ = 7,4-6,8 %. Характер влияния показателя ССГ и масштабного фактора в легированном 1 % Ni высокопрочном чугуне, по сравнению с нелегированным, существенно не изменяется, о чем свидетельствует наличие максимума на графике, описывающем изменение относительного удлинения в зависимости от скорости охлаждения. Установленное значительное влияние скорости охлаждения на структуру и механические свойства как нелегированного, так и легированного 1% Ni высокопрочного чугуна следует учитывать при разработке конструкций деталей машин и оборудования.

УДК 537.84:669.18:621.746.5

Верзилов А.П., Кулиш Ю.Ю., Гойда Д.И.

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

Тел./факс.: 0669199089, e-mail: verzilovalex@gmail.com

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИСТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ЦЕНТРИФУГАЛЬНОЙ КАМЕРЕ ДВУХКАМЕРНОГО МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША

Технологическая цепочка микро-металлургических заводов имеет существенные отличия в сравнении с вертикально-интегрированными предприятиями и характеризуется отсутствием автономного агрегата для внепечной обработки, что объясняется невозможностью обеспечить подогрев стали на установке ковш-печь и выполнить вакуумирование в силу малого объема плавки в несколько тонн. В этой связи возникает необходимость в переносе этих операций в промежуточный ковш МНЛЗ или МПНЛЗ [1].

Авторами была создана физическая модель и выполнен выбор рабочих сред, обеспечивающих совмещенную оценку динамики истечения потоков внутри двухкамерного промежуточного ковша с использованием электромагнитного перемешивания, который используется на МНЛЗ и МПНЛЗ в условиях современного микро-завода. Показано, что разработанная физическая модель позволяет выполнить оценки эффективности использования различных конструкций металлоприемников, характера движения потоков в камере при изменении скорости вращения и положения зоны приложения усилия, а также оценить резидентное время и эффективность удаления включений.

На базе разработанной физической модели исследованы особенности перемешивания жидкости в ковше при наложении на жидкую ванну магнитного поля:

1. Выполнена оценка влияния высоты налива жидкости в центрифугальной камере, которая подвергается прямому воздействию электромагнитного поля. Установлено, что эффект вращения всего объема жидкости достигается уже при высоте воздействия магнитного поля, равной 0,2-0,3 общей высоты налива. Повышение высоты наложения магнитного поля приводит к захвату в перемешивание верхних слоев жидкости в промежуточном ковше. Это явление

может стать источником дополнительного загрязнения стали частицами покровного шлака.

2. Выполнена оценка перемещения неметаллических включений при вращательном движении жидкой ванны в промежуточном ковше. В качестве неметаллических включений использовали пластиковые шарики различного диаметра. Показано, что центрифугальный эффект в большей степени проявляется для шариков с большим диаметром. На сепарацию включений оказывает влияние скорость вращательного движения.

3. Выполнена оценка поведения струи жидкости, падающей из разливочного ковша в центрифугальную камеру. Эффект перемешивания падающей струи и циркуляционных потоков оценивался при введении в струю цветных чернил (рис.1). Показано, что эффект перемешивания двух потоков жидкости зависит от интенсивности вращения циркуляционных потоков. Эффект гомогенизации жидкости в промежуточном ковше определяется скоростью вращения (5-10 об/мин). Полная гомогенизация расплава достигается за 2-2,5 оборота.

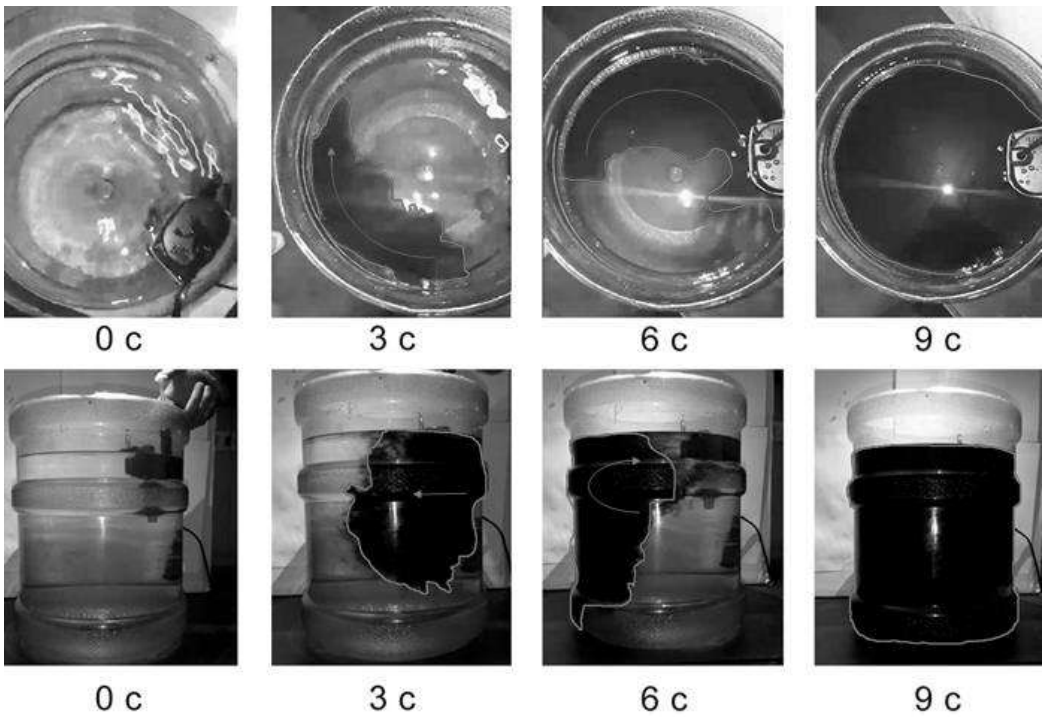


Рис.1 – Кинограмма движения моделирующей жидкости в объеме центрифугальной камеры двухкамерного промежуточного ковша

4. Отработаны режимы периодического воздействия вращательных потоков на сепарацию неметаллических включений. Показано, что при определенных режимах обработки достигается увеличение сепарации неметаллических включений.

Выполненные на физической модели исследования показывают, что вращение жидкости в промежуточном ковше обеспечивает сепарацию неметаллических включений и повышение качества заготовки.

Список литературы

1. *Дубоделов В.И., Смирнов А.Н., Верзилов А.П., Кулиш Ю.Ю., Гойда Д.И.* Применение электромагнитных воздействий при непрерывной разливке стали // Процессы литья. – 2019. – №1 (133). – С.10-22.

УДК 621.7.06

Верховлюк А.М., Щерецкий А.А., Сергиенко Р.А., Петровский Р.В.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г Киев
044 424 34 02, e-mail: vam@ptima.kiev.ua

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Прогнозы развития техники показывают, что производство и потребление в машиностроении металлических материалов с различными свойствами растет. Повышение качества отливок из них имеет первостепенное значение для многих отраслей промышленности, так как позволяет увеличить срок службы изделий, снизить их металлоемкость и в целом сократить их потребность.

В работе представлены данные по кинетике растворения различных материалов в расплавах на основе железа и алюминия. Исследования проводили методом вращающегося диска с равнодоступной поверхностью. Было определено влияние углерода и кремния на параметры растворения различных марок графитов в железоуглеродистых расплавах и в результате чего предложен механизм растворения. На основании термодинамических расчетов выбран ряд доступных огнеупоров для изучения межфазных свойств в системах расплавы на

основе циркония - огнеупоры. Эксперименты показали, что увеличение температуры и времени выдержки к увеличению межфазного взаимодействия. Уже, при температуре 1258 К контактный угол смачивания (Ѳ) меньше 90 град. Для циркониевых расплавов с различной концентрацией магния и иттрия увеличение температуры приводит в начальный момент к понижению Ѳ, а затем, при температуре 1443 К, к его резкому повышению. Разработаны технологические режимы получения новых монетных сплавов с функциональными свойствами.

Предложена технология получения высокотемпературных карбидов вольфрама с кубической WC_{1-x} и гексагональной W_2C структурами методом плазменного разряда в ультразвуковом кавитационном поле органической жидкости и аморфных металлических сплавов. Низковольтный плазменный разряд между электродами инициировался в этиловом спирте благодаря увеличению электрической проводимости жидкости в ультразвуковом поле. Она позволяет получать различные конструкционные материалы, модификаторы и др.

Разработана технология и предложено оборудование для получения материалов в аморфном и наноструктурном состояниях.

Усовершенствована технология изготовления контактного медного провода, в который дополнительно было введено серебро и олово, сумма их составляла ~ 0,1 %

Разработана технология получения пористых металлических материалов методом травления дисперсного наполнителя из композиционного материала, полученного методом вакуумной компрессионной пропитки. Полученные, таким образом, материалы можно использовать в качестве фильтров, смесителей, демпфирующих материалов и др.).

УДК 621.365.5

Волощук К.В., Островерхова К.В., Костик К.О.

Національний технічнийуніверситет

«Харківський політехнічнийінститут», Харків

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНИХ ТИГЕЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

Індукційні тигельні печі широко застосовуються в промисловості для плавки чорних і кольорових металів як на повітрі, так і у вакуумі і в захисних атмосферах. В даний час використовуються печі ємністю від десятків грам до десятків тонн. Індукційні тигельні печі застосовують, головним чином, для плавки високоякісних сталей та інших спеціальних сплавів, які вимагають особливої чистоти, однорідності і точності хімічного складу, що недосяжно при плавці в полум'яних і дугових печах. Тому метою даної роботи є вивчення особливостей застосування індукційних тигельних печей.

Розгляд питання показав, що в даний час індукційні тигельні печі підвищеної і промислової частоти широко застосовують для плавки звичайних важких і легких кольорових металів та їх сплавів у виробництвах з періодичним режимом роботи та широким асортиментом виплавляємих сплавів, а також для плавки сильно забрудненої шихти з великим вмістом стружки або сплавів, які потребують модифікування, оскільки в канальних печах наявність каналів ускладнює перевод печей плавки з одного сплаву на інший, і в той же час флюси і модифікуючі солі, а також брудна дрібна шихта сприяє заростанню каналів.В роботі детально вивчені і відзначені основні переваги і недоліки індукційних тигельних печей. При цьому відзначено, що інтенсивна електродинамічна циркуляція розплаву в тиглі, що забезпечує швидке плавлення дрібної шихти і відходів, швидке вирівнювання температури по об'єму ванни і відсутність місцевих перегрівів, гарантує отримання багатокомпонентних сплавів, однорідних за хімічним складом.

Вивчення цього питання дозволяє зробити висновок, що індукційні тигельні печі як плавильні пристрої володіють великими перевагами, найважливіші з яких є можливість отримання досить чистих металів і сплавів точно заданого складу, стабільність властивостей одержуваного металу, малий угар металу і легувальних елементів, висока продуктивність, можливість повної автоматизації, хороші умови

праці обслуговуючого персоналу, мала ступінь забруднення навколишнього середовища.

УДК 669.112:546.621

Ворон М.М., Матвиец Е.А.
ФТИМС НАН Украины, г. Киев
mihail.voron@gmail.com

ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИГАТУР С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ТУГОПЛАВКИХ И ВЫСОКОРЕАКЦИОННЫХ МЕТАЛЛОВ

В современном мире постоянно наблюдается тенденция к повышению уровня свойств и эксплуатационных характеристик различных материалов. Для таких хорошо зарекомендовавших себя основных конструкционных материалов, как сталь, чугун, алюминиевые и титановые сплавы, все чаще применяют различные виды модифицирования, способные эффективно повлиять на структуру и свойства сплавов.

Для алюминиевых сплавов, как известно, постоянно ведется работа по микролегированию и модифицированию широкого ряда композиций. Некоторые модификаторы и микролегирующие добавки способны оказывать комплексное влияние на структурно-фазовое состояние сплавов и широкий ряд эксплуатационных характеристик. Хорошо известными и положительно зарекомендовавшими себя модификаторами для алюминиевых сплавов являются Ti, Zr, V, TiB_2, Ce, Sc, Sr и некоторые другие [1, 2]. На ряду с классическими модификаторами, последнее время большое внимание уделяется введению в состав алюминиевых сплавов таких тугоплавких и высокореакционных элементов как Mo, Hf и Nb, которые способны значительно повысить жаропрочность и сопротивление ползучести алюминиевых сплавов на ряду с измельчением микроструктуры и повышением прочностных характеристик [1, 3].

Существующие исследования по введению тугоплавких элементов в состав алюминиевых сплавов демонстрируют перспективы промышленного внедрения таких идей, но при этом остается трудность ввода подобных добавок и их усвоение. На сегодняшний день практически не существует эффективных методов получения

лигатур на основе алюминия с тугоплавкими и высокореакционными металлами. Имеющиеся технологии, применяемые для получения лигатур систем Al-Ti, Al-Zr и Al-V могут позволить получить аналоги с содержанием молибдена или гафния на уровне 1% масс [4, 5].

Во ФТИМС НАН Украины была создана технология получения лигатур систем Al-Ti, Al-Zr, Al-V, Al-Mo и Al-Hf с содержанием более тугоплавкого компонента на уровне 5-15 % масс. Содержание молибдена и гафния, по состоянию на сейчас, находится на уровне 8 % масс., но ведутся работы по отработке технологии для обеспечения стабильного содержания этих элементов на уровне 10% масс.

В основе метода лежит электронно-лучевая литейная технология, поэтому лигатуру можно получать в виде отливок различного вида – прутка, чушки, штанги, «шоколадки» и др. Размеры модифицирующих включений интерметаллидного происхождения, образующихся в литой лигатуре, находятся в пределах 3-20 мкм, в зависимости от состава последней. Такие размеры интерметаллидной фазы являются более чем приемлемыми для применения лигатуры в исходном литом состоянии.

Список литературы

1. Белов Н.А., Алибин А.Н. Перспективные алюминиевые сплавы с повышенной жаропрочностью для арматуростроения как возможная альтернатива сталям и чугунам // Материалы в машиностроении. - №2 (65). – 2010. – С. 50-54.

2. Золотаревский В.С., Белов Н.А., Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – М.: МИСиС. – 2005. – 376 с.

3. Alessandro Morri et al. Mo Addition to the A354 (Al–Si–Cu–Mg) Casting Alloy: Effects on Microstructure and Mechanical Properties at Room and High Temperature // Metals. – 2018. – № 8. – P. 1-18.

4. Патент РФ RU2232827, C22C1/03; C22C21/00, C22F3/00; 20.07.2004.

5. Патент РФ RU2448181, C22C1/02; C22C21/00, C22C35/00; 20.04.2012.

УДК 669.13 (03)

В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

РОСТ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МИРЕ

Мировой рынок отливок из алюминиевых сплавов в начале XXI века растет. Объем производства 2017 г. - 19,1 млн. т в 2,4 раза выше показателя 2000 г. (рис. 1) [1, 2], что коррелирует с коэффициентом 0,95 роста выпуска первичного алюминия.

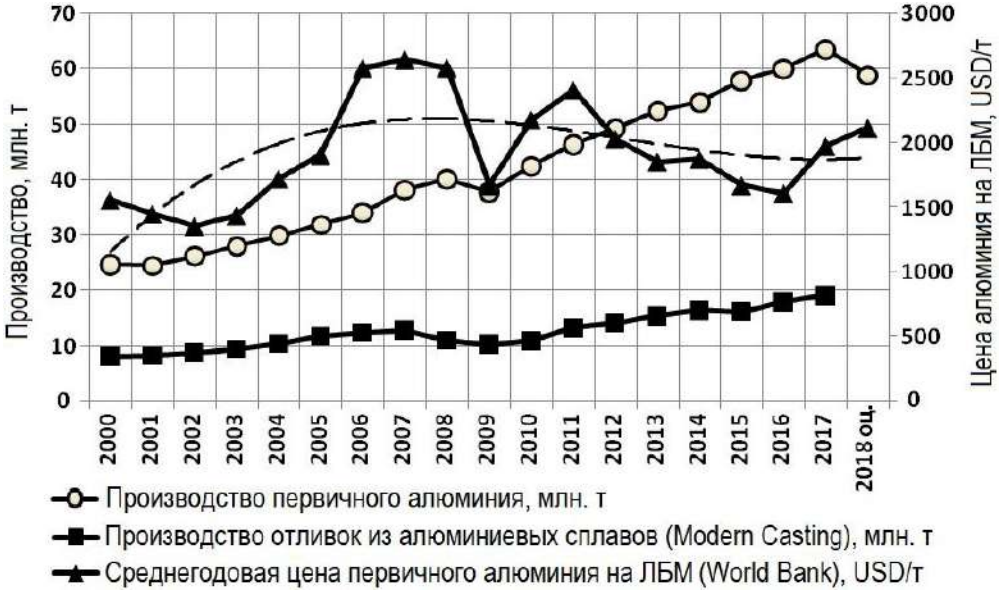


Рис. 1. Динамика мирового рынка первичн. алюминия и алюминиевых отливок.

Таблица 1. Производители отливок из алюмин. сплавов 2013 / 2017 гг. [1, 2]

Топ 2013	Страна	2013		Топ 2017	Страна	2017		2017 к 2013, %
		Производство, тис. т	Доля, %			Производство, тис. т	Доля, %	
1	**Китай**	**5200,0**	**33,86**	**1**	**Китай**	**7300,0**	**38,27**	**140,4**
2	США	1682,0	10,95	2	США	1679,1	8,80	99,8
3	**Япония**	**1382,0**	**9,00**	**3**	**Япония**	**1489,7**	**7,81**	**107,8**
4	Индия	950,0	6,19	4	Индия	1305,4	6,84	137,4
5	**Германия**	**885,7**	**5,77**	**5**	**Германия**	**1137,1**	**5,96**	**128,4**
6	Италия	695,7	4,53	6	Италия	856,4	4,49	123,1
7	**Мексика, 2011**	**600,5**	**3,91**	**7**	**Мексика**	**817,9**	**4,29**	**136,2**
8	Россия	600,0	3,91	8	Россия	725,0	3,80	121,0
9	**Корея Республика**	**560,9**	**3,65**	**9**	**Корея Республика**	**629,4**	**3,30**	**112,2**
10	Польша	340,0	2,21	10	Турция	380,0	1,99	140,7
	Вместе	**12896,8**	**83,98**		**Вместе**	**16320,0**	**85,55**	**126,5**
	Другие 27 стран	2460,6	16,02		Другие 27	2756,3	14,45	112,0

					стран			
	Всего	**15357,3**	**100,00**		**Всего**	**19076,3**	**100,00**	**124,2**

В течение 2013-2017 гг. существенных изменений в топ-10 мировых производителей отливок из алюминиевых сплавов не случилось (табл. 1). Первая тройка: Китай, США и Япония, которые своей долей по итогам 2017 г. занимали, соответственно, 38,3; 8,8 и 7,8 % мирового производства. Сравнительный анализ рейтингов стран производителей и экспортеров / импортеров по 2017 г. (табл. 2) позволяет выявить определенные закономерности. Так, лидером среди экспортеров товаров по коду УКТ ВЭД 7616 является Китай (16,8 % мирового экспорта), а далее - Германия (10,5 %) и Италия (9,1 %). Эти страны занимают видное место и среди производителей, Китай на 1-м месте, а Германия и Италия – на 5-м и 6-м местах.

Таблица 2. Сравнительные рейтинги производителей отливок из алюмин. сплавов, а также экспортеров / импортеров товаров по коду УКТ ВЭД 7616 в 2017 г.

Топ - 10	Страны производители	Производство отливок, % (т)	Страны экспортеры	Экспорт товаров (код 7616), % (USD)	Страны импортеры	Импорт товаров (код 7616), % (USD)
1	**Китай**	**38,27**	**Китай**	**16,76**	**США**	**11,74**
2	США	8,80	Германия	10,49	Германия	10,80
3	**Япония**	**7,81**	**Италия**	**9,14**	**Франция**	**6,23**
4	Индия	6,84	США	7,41	Китай	5,01
5	**Германия**	**5,96**	**Франция**	**4,47**	**Мексика**	**4,58**
6	Италия	4,49	Австрия	4,14	Тайланд	3,64
7	**Мексика**	**4,29**	**Польша**	**4,05**	**Великобритания**	**2,68**
8	Россия	3,80	Тайвань, Китай	3,25	Польша	2,54
9	**Корея Республика**	**3,30**	**Чехия**	**3,14**	**Вьетнам**	**2,51**
10	Турция	1,99	Испания	2,97	Нидерланды	2,50
	Украина	**0,01**	**Украина**	**0,02**	**Украина**	**0,27**

Примечание. Исходные данные от Modern Casting [2] і International Trade Centre [3]

Основным потребителем алюминиевых отливок является транспортная отрасль (доля 75 % в 2011 г.), в том числе автомобилестроение – 57 %. Странами лидерами по производству алюминиевых отливок является Китай, США и Япония. Литейное производство автомобильной отрасли использует прогрессивные технологии, которые постоянно совершенствуются, ученые создают новые процессы обработки сплавов, литья и литейные сплавы с повышенными эксплуатационными характеристиками, как, например, технология Rotocast, сплавы системы Al-Ce-X и ряд способов литья под давлением.

Список литературы

1. 48th Census of World Casting Production // Modern Casting, December 2014, p. 17-21.

2. 48th Census of World Casting Production // Modern Casting, December 2014, p. 17-21.

3. International Trade Centre. URL: http://www.intracen.org

УДК 621.746.6:331.6:658.526

В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

РЕЙТИНГ СТРАН-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОТЛИВОК В МИРЕ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Производство металлоотливок в мире за 2000 - 2017 гг. увеличилось с 64,8 до 109,9 млн. т или в 1,7 раза [1, 2] (рис. 1). Рейтинг стран показан в табл. 1.

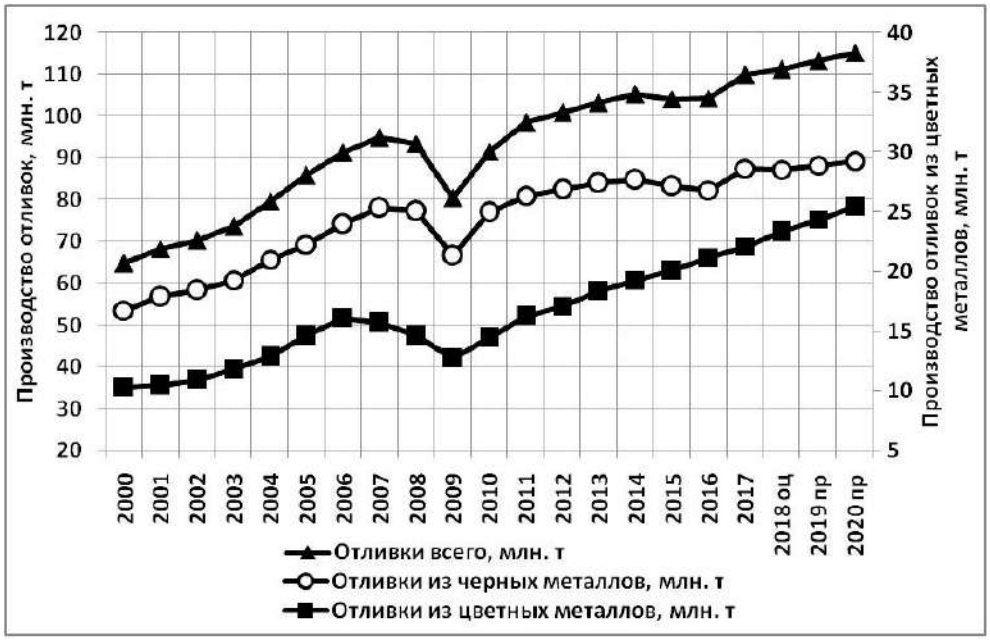


Рис. 1. Динамика производства отливок в мире [1, 2].

Таблица 1. Рейтинг мировых производителей отливок в 2013 и 2017 гг. [1, 2]

Топ 2013	Страна	2013		Топ 2017	Страна	2017		2017 к 2013, %
		Производство, млн. т	Доля, %			Производство, млн. т	Доля, %	
1	**Китай**	**44,500**	**43,11**	**1**	**Китай**	**49,400**	**44,96**	**111,0**

2	США	12,250	11,87	2	Индия	12,055	10,97	122,9
3	**Индия**	**9,810**	**9,50**	**3**	**США**	**9,668**	**8,80**	**78,9**
4	Япония	5,538	5,36	4	Германия	5,482	4,99	105,7
5	**Германия**	**5,187**	**5,02**	**5**	**Япония**	**5,454**	**4,96**	**98,5**
6	Россия	4,100	3,97	6	Россия	4,225	3,85	103,0
7	**Бразилия**	**3,071**	**2,97**	**7**	**Мексика**	**2,909**	**2,65**	**~176,1**
8	Республика Корея	2,562	2,48	8	Республика Корея	2,536	2,31	99,0
9	**Италия**	**1,971**	**1,91**	**9**	**Италия**	**2,243**	**2,04**	**113,8**
10	Турция	1,543	1,49	10	Бразилия	2,216	2,02	72,2
	Всего	**90,532**	**87,70**		**Всего**	**96,188**	**87,55**	**106,2**
	Прочие 26 стран	12,698	12,30		Прочие 28 стран	13,676	12,45	107,7
	Итого	103,230	100,00		**Итого**	**109,864**	**100,00**	**106,4**

За 2013-2017 гг. производство отливок в мире из сплавов цветных металлов увеличилось на 20,7 %, а из черных металлов – на 3,0 % (рис. 2).

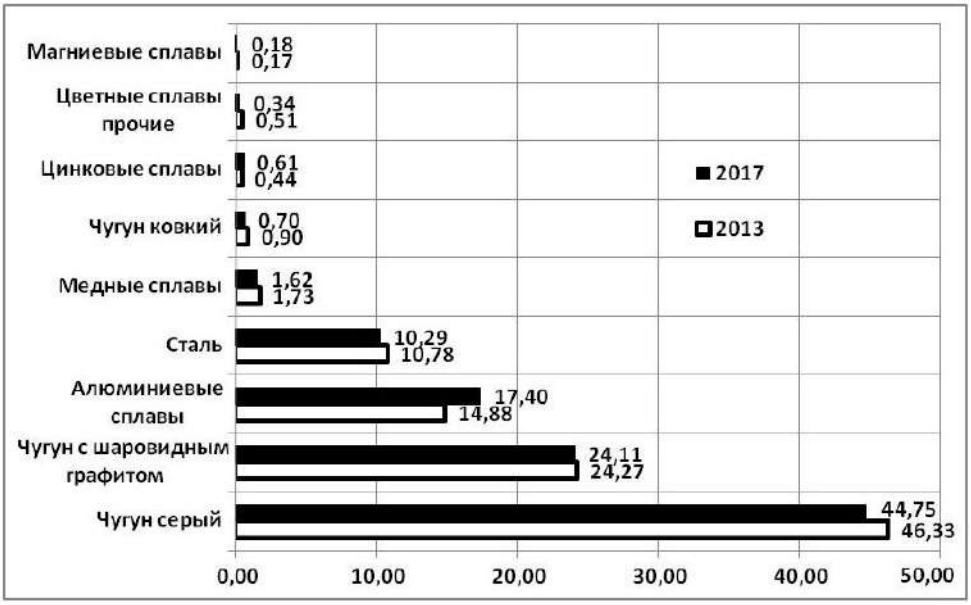


Рис. 2.

Производство литья в мире по виду металла в 2013 и 2017 гг., (%) [1, 2].

Интересны прогнозы American Foundry Society (AFS) на 2018-2021 гг. и 2018-2027 гг. о росте производства отливок в США (табл. 2) [3].

Таблица 2. Прогнозы AFS о росте выпуска в США отливок (% в год) [3]

Литье по видам сплавов	2018 - 2027, %	2018 - 2021, %
Алюминиевые сплавы	3,4	2,2
Сталь для литья по выпл. моделям	3,3	3,8
Магниевые сплавы	3,3	3,6
Чугун с шаровидным графитом	2,2	2,1
Сплавы цинка и свинца	2,2	2,5
Сплавы никеля, кобальта и титана	1,9	2,5
Чугун с компактным графитом	1,8	1,9

Сплавы меди	1,6	1,6
Чугун серый	1,1	1,3
Сталь	0,7	1,6
Чугун ковкий	-0,7	-0,4

Описанные результаты выпуска отливок и прогнозы отражают закономерное стремление производить отливки из более прочных металлов с меньшей стоимостью и плотностью для реализации одного из важнейших резервов снижения себестоимости готовой продукции.

Список литературы

1. 48th Census of World Casting Production // Modern Casting, December 2014, p. 17-21.

2. 52th Census of World Casting Production // Modern Casting, December 2018, p. 23-26.

3. U.S. Casting Sales Reach $33.1 Billion. Casting Design & Purchasing. Jan/Feb 2019, p. 21-22.

УДК 621.746.6:331.6:658.526

С.В. Гнилоскуренко, Е.П. Белоусова

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

Тел.: (*+38044) 424-12-50, e-mail: expo@ptima.kiev.ua*

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛИТЕЙНОЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ

Производство отливок в мире из различных металлов и сплавов постоянно повышается на протяжении последних десятилетий, хотя этот рост не является равномерным: лидирующие страны-производители литья стабильно наращивают его выпуск, остальные – стараются удерживать на постоянном уровне [1]. Литейное производство Украины в последние годы характеризуется значительным спадом [2], несмотря на то, что рынок литья в нашей стране имеет большие перспективы. Переориентацию на развитие производства собственного литья, восстановление машиностроительного комплекса и уменьшение доли импорта необходимо

осуществлять с использованием передовых научно-технических разработок и современного оборудования.

В работе обобщены и проанализированы направления научных исследований в литейной отрасли с использованием материалов докладов на научно-практических конференциях «Литьё. Металлургия» (г. Запорожье) [3] в период с 2012 по 2017 гг. по различным тематикам (Рисунок). Хотя в Украине проводятся ежегодно 4-6 конференций по литейной тематике [4] с общим количеством докладов около 500, для анализа выбраны данные указанной выше конференции как одной из наиболее представительных (в среднем 130 докладов в год).

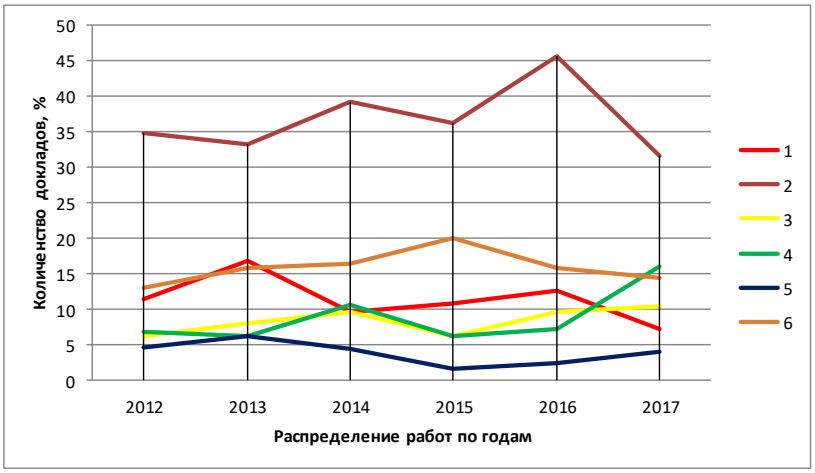


Рисунок. Количественное распределение докладов, представленных на научно-практических конференциях «Литьё. Металлургия» с 2012 по 2017 гг. по следующим тематикам:

1 - Теория и технология литейной формы. 2 - Технологии, оборудование и изготовление различных типов отливок. 3 - Машины и механизмы для изготовления литья. 4 – Процессы обработки жидкого и кристаллизующегося металла, структурообразование, механические и эксплуатационные свойства отливок. 5 - Экономика, экология и охрана труда. 6 - Моделирование, анализ и расчеты в литейном производстве.

Анализ представленных данных показывает, что по тематике докладов количественно существенно преобладают исследования и разработка технологий, оборудования и изготовление различных типов отливок (кривая 2) – более 30% от общего числа докладов при уровне остальных направлений в пределах 5-20%. При этом в 2016 году результаты таких исследований (2) были представлены

максимально широко – 45% докладов, а в 2017 они освещались минимально – около 31%. Критически мало исследований (2-6%) посвящено таким важнейшим направлениям как экология и охрана труда, а также экономика (5). Отсутствие таких данных может сдерживать улучшение экологичности отечественного литейного производства, а также внедрение более перспективных технологий. Традиционные для литейного производства направления исследований (1,3,4) по количеству докладов занимают промежуточное положение (6-16%). Необходимо отметить относительно высокие показатели объемов работ (13-20%) по моделированию, анализу и расчетам в литейном производстве (6). Этот факт свидетельствует о все большем привлечении информационных технологий и менее затратного, по сравнению с натурными экспериментами, моделирования технологических процессов в практику литейного производства. Безусловно, эта тенденция является положительной с экономической точки зрения, а также подчеркивает важность направления для прогнозирования результатов технологических процессов, повышения качества литья и для выбора оптимального оборудования.

Результаты проведенных аналитических исследований показали превалирующие направления научных изысканий в Украине в области литейного производства и могут быть учтены при разработке мероприятий для преодоления текущего положения отрасли.

Список литературы

1. 52th Census of World Casting Production. Modern Casting, December 2018, pp. 23–26.

2. *Гнатуш В. А., Дорошенко В. С.* Тенденції світового та українського ринків виливків і розвитку технології лиття в дзеркалі 2016 р. // Металл и литье Украины. - 2018. - №1-2, С. 29-34.

3. Матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій «Литво. Металургія». ТТП Запоріжжя. – м. Запоріжжя. – 2012 – 2017 рр.

4. *С.В. Гнилоскуренко, Е.П. Белоусова.* Динамика научных исследований в литейной отрасли. / Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія». 2018: – Запоріжжя, ЗТПП-ФТІМС, 2018, С. 55-57

УДК 669.71:532.694:539.216

С.В. Гнилоскуренко[1], М.В. Семенов[2], О.В. Бякова[2]

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

[2]Інститут проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ

МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ СПІНЕНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ТА ЇХ ОБМЕЖЕННЯ

Зменшення матеріалоємності транспортних засобів та інженерних конструкцій, зокрема у будівництві, при збереженні рівня їх механічних та службових характеристик є актуальною задачею машинобудування, будівельної індустрії тощо. Її вирішення можливе декількома шляхами: проектуванням більш технологічних деталей, вузлів та елементів конструкцій та розробкою і застосуванням для них нових більш легких але, в той же час, міцних матеріалів. В якості таких матеріалів можуть використовуватися високопористі композити, зокрема, на основі спінених алюмінієвих сплавів. Мала питома вага та унікальна багатофункціональність таких матеріалів обумовлена їх комірчастою структурою, сформованою газовими порами та металевими перегородками між ними, що забезпечує нові фізико-механічні властивості. Зокрема, вони характеризуються недосяжною для щільних матеріалів питомою жорсткість та міцністю, здатністю витримувати в умовах стиснення значні (до 60-80%) деформації майже при сталому напруженні, що надає можливість поглинати значну механічну енергію [1].

Натепер розроблена велика кількість методів спінювання сплавів [2,3], найбільш розповсюдженими з яких є обробка металевих розплавів спінювальними реагентами або нагрівання та спінювання у напіврідкому стані порошкових компактованих заготівок матричного сплаву зі спінювачем. Торговими марками такої продукції є Alcan/Hydro, Alporas, Alulight, Shunk [4-6].

Значним недоліком методу Alcan/Hydro є великий вміст керамічних часток, необхідних для спінювання алюмінієвих сплавів під час прямої інжекції газу, що

значно ускладнює механічну обробку кінцевого продукту. Серед недоліків методів Alporas, Alulight, Shunk найбільш значним є застосування дорогого гідриду титану (TiH_2) в якості спінювача та гранульованого Ca для згущування розплаву у способі Alporas. Хоча постійно проводиться пошук альтернативних гідридних спінювачів, це не призвело до значних результатів тому, що деякі з них ($NaBH_4$, KBH_4) не забезпечували необхідну якість спіненого матеріалу, а інші ($LiAlH_4$) мали більш високу вартість, ніж гідрид титану [7].

Певні технічні обмеження методів звужують перелік застосовуваних алюмінієвих сплавів: у методі Alcan/Hydro переважно використовується сплав Al-Si (A356), а в порошкових методах - сплави Al-Si-Cu (A356) та Al-Mg-Si (6061). З огляду на це значні переваги має метод спінювання “Alporas” [8], який потенційно пристосований до використання сплавів алюмінію різноманітного складу, що дозволяє керувати механічними властивостями кінцевого матеріалу.

Не оптимальними є згадані методи і з точки зору впливу технологічних додатків на мікроструктуру матеріалу і як наслідок на його механічну поведінку. Встановлено, що у разі застосування гідриду титану (TiH_2), а також Ca в ряді випадків зменшується міцність сплавів та, як наслідок, енергія абсорбції [6, 9].

З цієї точки зору перспективним є виготовлення спіненого алюмінію із розплавів та порошкових сумішей із застосуванням в якості альтернативного спінювача карбонату кальцію ($CaCO_3$), який на додаток сприяє підвищенню стабільності рідкої піни, а також зменшенню розміру комірок щонайменш в 1,5-2 рази [8,9].

Список літератури

1. *Gibson, L. J.* Mechanical Behavior of Metallic Foams / Annual Rev. Mater. Sci. – 2000. V.30. P.197 – 227.

2. *О. В. Бякова, В. В.Скороход, О. І. Юркова.* Спінені та високопористі матеріали з комірковою структурою /– Київ: Гарант сервіс, 2011. – 320 с.

3. *Banhart, J.* Light-metal Foams – History of Innovation and Technological Challenges / Advanced Engineering Materials. – 2013. – V. 15, No. 3. – P.82-111.

4. *S. Akiyama, H. Ueno, K. Imagawa et al*. Pat. No. 4,713,277 USA, E04B, 1/82, B32B 3/10, B32B 3/24, B32B 15/00. Foamed metal and method of producing same – Dec. 15, 1987.

5. *P. Schaeffler, W. Rajner, D. Claar et al.* Production, Properties, and Applications of Alulight® Closed-Cell Aluminum Foams / Fifth International Workshop on

Advanced Manufacturing Technologies: Proceedings. – London, Canada, 2005. – p. 151-156.

6. *A.V. Byakova, S.V. Gnyloskurenko, T. Nakamura*. The Role of Foaming Agent and Processing Route in the Mechanical Performance of Fabricated Aluminum Foams / Metals. – 2012. – V. 2, No. 2. – P.95-112.

7. *J. Banhart, G.S. Vinod-Kumar, P.H. Kamm et al.*Light-metal foams: Some recent developments / Ciência & Tecnologia dos Materiais. – 2016. – V.28. – P.1-4.

8. *S. Gnyloskurenko, A. Byakova, A.I. Sirko et al.* Advanced Structure and Deformation Pattern of Al-based Alloys with Calcium Carbonate Agent / – Porous Metals and Metallic Foams, ed. D.C. Dunand. – 2007. – P.399-402.

9. *A. Byakova, I. Kartuzov, S. Gnyloskurenko et al.* The Role of Foaming Agent and Processing Route in Mechanical Performance of Fabricated Aluminum Foams / // Advances in Materials Science and Engineering. – 2014. – V.2014. – Article ID 607429.

УДК 669.018.28:669.715

Головаченко В. П., Дука В. М., Цир Т. Г., Вернидуб А. Г., Исайчева Н. П.

Физико-технологический институт металлов и сплавов

НАН Украины, г.Киев

Тел. (044) 424-68-23, e-mail: onmlptima@ukr.net

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ ЧАСТИЧНО ЗАТВЕРДЕВШИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ (РЕОЛИТЬЕ)

Металлическая суспензия с глобулярной морфологией α-фазы алюминия обладает рядом особенных свойств:

-обладает сверхтекучестью, благодаря жидкой составляющей, обволакивающей глобули α-твердого раствора, что позволяет получать тонкостенные отливки (2 мм);

- твердая фаза находится в виде глобулей практически не слипающихся между собой и не образующих замкнутого каркаса в двухфазной области температур, ответственного за горячеломкость, что позволяет лить высокопрочные как литейные, так и деформируемые алюминиевые сплавы (ВАЛ10, В95, Д16 и др.) [7,8].

- в микроглобулях в процессе фазового перехода из жидкого в твердое состояние происходит миниусадка: (60х0,06)=3,6 мкм, где 60 – средний размер глобуля, мкм, 0,06 – объемная усадка алюминия. Таким образом, в зависимости от содержания твердой фазы суммарная окончательная усадка сплава уменьшается, а точность литья увеличивается. Допускаются литейные уклоны до 15 минут, что в 3 раза меньше по сравнению с ординарным ЛПД;

- высокая вязкость металлической суспензии обеспечивает заполнение полости формы в ламинарном режиме, что исключает захват газов;

- новый совмещенный процесс рео-тиксолитья позволяет проводить упрочняющую высокотемпературную обработку отливок без «вздутий» подкорковых газов и способствует получению герметичных отливок;

- за счет глобуляризации α-твердого раствора существенно, в 3-4 раза, повышаются пластические свойства литого материала;

- в результате снижения температуры литья достигается экономия электроэнергии (~15-20 %), повышается ресурс работы пресс-форм на 20 %, поскольку уменьшается эрозионное воздействие низкотемпературной суспензии на рабочую поверхность пресс-формы.

Таким образом, новый процесс реолитья обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с ординарным ЛПД.

УДК 621.746

А.Б. Головня, Т.А. Сыренко, И.Ф. Клименко

Харьковский машиностроительный колледж, Харьков

СПЛАВЫ МАРГАНЕЦ-МЕДЬ. ОСОБЕННОСТИ ЗАВАРКИ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ ОТЛИВОК

Марганцевомедные сплавы относятся к так называемым «немым» сплавам, способны поглощать энергию механических колебаний, на уровне серых чугунов, но при этом им свойственны механические характеристики, на уровне конструкционных сталей, немагнитны и коррозионностойки в морской воде [1].

Относительно невысокие температуры плавления и заливки 1150°С - 1350°С, высокая текучесть и хорошая заполняемость форм, позволяют получать сложные по

конфигурации отливки, и в тоже время , практически всем двойным и легированным сплавам Mn-Cu, с содержанием Mn 50-80%, по массе, свойственны значительны усадки:объемной 2,7-3,5 % и линейной 1,8-2,5 %, а так же высокая газонасыщенность, основных компонентов сплавов Mn и Cu водородом и кислородом, которые способствует образованию трещин и газовой пористости в тепловых зонах, угловых и тавровых переходах.

В тех случаях, когда не удается избежать дефектов выбором соответствующей технологии литейной формы, отливки подвергают «лечению» методами сварки [1,2].Привыборе технологии сварки необходимо учитывать требования к механическим характеристикам изделий, физико-химические и металлургическим особенности сплавов и их компонентов,

К металлургическим особенностям, кроме склонности к растворению газов, так же,необходимо отнести высокую упругость паров марганца при температуре плавления (1256^{o}C)-133 Па, сравнение - для железа и меди по-1,3 Па.При сварке плавящимся покрытым электродом, высокое давление паров марганца приводит к значительным потерям элемента и загрязнение шва оксидами марганца, не растворимых в сплавах. Данная технология позволяет обеспечить химический состав и механические характеристики ремонтируемого участка близкими к основному металлу отливки, что необходимо если дефект влияет на механические, и в частности, демфирующие характеристики изделия.

В тех случаях, когда литейные дефекты незначительныи они не влияют на физико-механические характеристики в целом, предпочтительно воспользоваться еще одной особенностьюмарганцевомедныхсплавов – создавать ряд растворов с медью никелем, железом, как в расплавленном, так и в кристаллическом состояниях и выполнять ремонты отливок с помощью присадочных материалов на основе меди.

Список литературы

1. Головня А.Б. Опыт снижения уровня вибрации с использованием литых металлических материалов высокого демпфирования/ А.Б.Головня// Процессы литья – 2003.-№.2-С.86-93.

2. Фавстов Ю.К. Металловедение высокодемпфирующих сплавов/ Фавстов Ю.К.¸Шульте Ю.В., Рахштадт А.Г.-М. «Металлургиздат», -1980.-273 с.

УДК 621.742.4

Л. А. Дан, Л. А. Трофимова, А.Г. Подорожний

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОТХОДОВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПОЛИСТИРОЛА В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ СМЕСИ

Сочетание высокого уровня механических свойств формовочных и стержневых смесей с хорошей их податливостью и выбиваемостью обеспечивает получение качественных отливок.

В предыдущих исследованиях в песчано-глинистую смесь в качестве упрочняюще-разупрочняющей добавки вводили отходы бисерного (гранулированного) полистирола в количестве 1,5 и 3,0% [1, 2]. Было установлено, что с повышением содержания отхода в указанных пределах комплекс механических свойств смесей заметно улучшается.

В настоящей работе количество вводимого гранулированного полистирола увеличили до 4,5%. Как и в работах [1, 2] исследования проводили на песчано-глинистой смеси, содержащей 93 % масс. кварцевого песка К02 и 7 % масс. Часов-Ярской глины. Стандартные образцы испытывали на сжатие сразу после изготовления, после сушки при 60 °С, в течение 1 ч, а также нагрева до 250, 500 и 750 °С и выдержки в печи 1 ч.

Опыты и сравнение их результатов с результатами предыдущих исследований показали следующее (рис. 1). В отличие от предыдущих работ, когда предел прочности и опытных и контрольных образцов в сыром состоянии был практически одинаковым (0,05 – 0,06 МПа), образцы, содержавшие 4,5% отходов полистирола имели предел прочности на сжатие 0,03 МПа.. После сушки при 60 ^{o}С прочность опытных образцов, содержащих как 1,5, так и 3% отхода полистирола также мало отличалась и была на уровне 0,3 МПа, а содержащих 4,5% - 0,2 МПа, контрольных - 0,22 МПа. После обработки при 250 ^{o}С, соответственно, - 1,34; 2,09; 0,252 и 0,4 МПа; после нагрева до 500 ^{o}С – 0,4; 0,4; 0,207 и 0,3 МПа; после нагрева до 750 ^{o}С – 0,26; 0,05; 0,05 и 0,23 МПа.

Полученные результаты могут быть объяснены изменениями, происходящими в полистироле с увеличением температуры [3]: оплавлением гранул, приводящим к дополнительному связыванию зерен песка с последующей деструкцией гранул, вызывающей разупрочнение смеси.

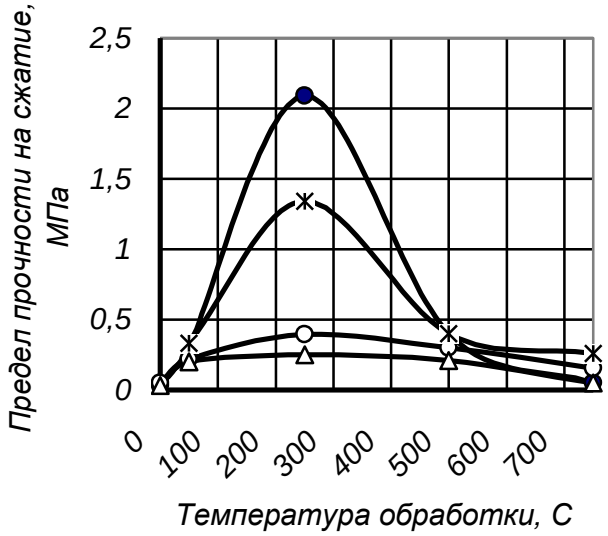


Рис. 1 – Прочность на сжатие формовочных смесей после обработки при различной температуре: ○ – контрольная смесь; * - опытная смесь, 1,5% отхода полистирола [1]; ● – опытная смесь, 3% отхода полистирола [2]; Δ – опытная смесь, 4,5% отхода полистирола

Вывод. Оптимальное содержание отходов гранулированного полистирола в песчано-глинистой смеси, обеспечивающее значительный упрочняюще-разупрочняющий эффект – 3,0%.

Список литературы

1. Дан Л.А. Механические свойства песчано-глинистых смесей, содержащих отходы гранулированного полистирола / Л.А. Дан, Л.А. Трофимова // Литво. Металургія. 2017: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Литво 2017». – Запоріжжя, 23-25 травня 2017 р.– С.43-44.

2. Дан Л.А. Влияние содержания отходов гранулированного полистирола на прочность и остаточную прочность песчано-глинистых смесей / Л.А. Дан, Л.А. Трофимова // Литво. Металургія. 2018: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Литво 2018». – Запоріжжя, 22-24 травня 2018 р.– С.63-64.

3. Тагер А.А. Физико-химия полимеров / А.А. Тагер. - М. : Химия, 1978. - 544с.

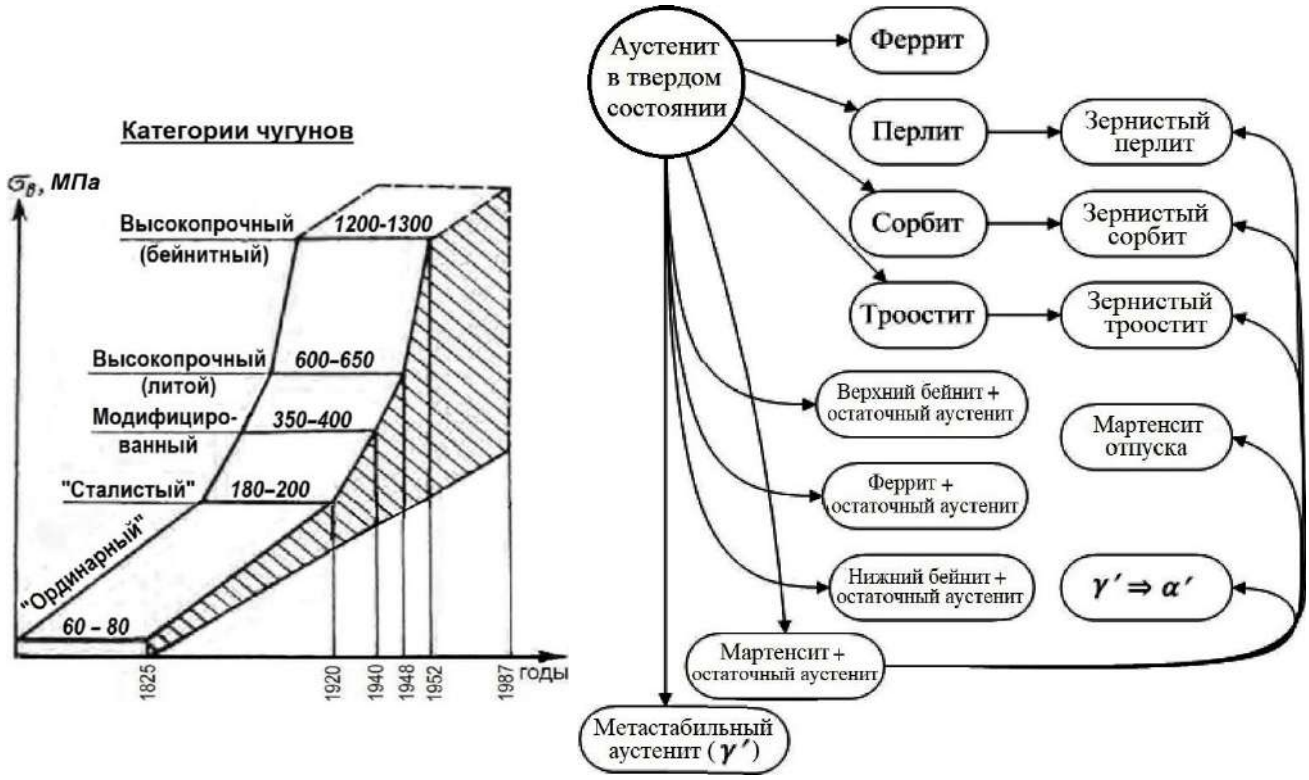
УДК 669.13 (03)

В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СПОСОБ ЛИТЬЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ТЕРМООБРАБОТКОЙ ОТЛИВОК

При выполнении исследовательской работы «Научные и технологические основы создания высокопроизводительных литейных процессов получения литых конструкций из железоуглеродистых и цветных сплавов» для отливок из высокопрочного чугуна (ВЧ) разработан способ литья в сочетании с термообработкой (ТО) [1]. После изотермической закалки ВЧ (Austempered Ductile Iron) достигает $\sigma_в$ = 1200…1300 МПа (рис. 1 а), как указано на схеме Бобро Ю. Г. [2]. А орграф (в виде дерева блоков и точек сочленения) превращений в твердом состоянии металлической матрицы ВЧ при охлаждении чугунов в литейной форме или при ТО, показан на рис. 1 б [3].



а б

Рис. 1. Механические свойства (а) [2] и структурообразование ВЧ (б) [3].

Способ [1] основан на литье ВЧ по газифицируемым моделям с удалением отливок из песчаной формы в аустенитном состоянии и переносом в течение 5-15 с их на закалку с изотермической выдержкой при температуре, определяемой требуемым типом структуры.

Список литературы

1. Патент 123731 Україна, B22 D7/00, B22 D23/00 / *В. С. Дорошенко, В. О. Шинський.* Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом. Опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.

2. *Бобро Ю. Г.* Металловедение литейных сплавов. Достижения и проблемы // Библиотека литейщика. – 2018. - № 3. – С. 9-15.

3. *Макаренко К. В.* Рациональное структурирование графитизированных чугунов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2014. - № 2. - С. 196-205.

УДК 621.74/517.3

В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко, В. О. Шинський

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНІВ ОБ'ЄКТІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Сучасне ливарне виробництво має розгалужену інфраструктуру і вимагає ефективного управління та контролю виконання технологічних процесів і операцій. Контроль якості виливків, мінімізація ресурсів досягається за рахунок підтримки в заданих межах теплофізичних та інших параметрів технологічних процесів. Ці завдання вимагають застосування автоматизованих комплексів управління та контролю для безперервного моніторингу сигналів, які відображають динаміку технологічних параметрів, кодування і передачу інформації в віддалену базу даних або в центральний комп'ютер, що відображає весь процес виробництва у вигляді графічних образів (графіків, гістограм, таблиць, та ін.). В ливарних цехах основним виробничим обладнанням є плавильні агрегати і автоматизовані формувальні лінії (АФЛ). Для ефективного управління виробництвом актуальною являється задача автоматизованого контролю за продуктивністю (виробництвом) АФЛ і роботою окремих механізмів і ділянок АФЛ. Контроль за виробництвом проводиться на основі

інформації про кількість залитих форм або виливків і кількість циклів операцій, що виконуються формувальними установками. В якості первинних датчиків в ливарних цехах доцільно застосовувати інфрачервоні датчики, за допомогою яких фіксується заливка форми, датчики або вимикачі для визначення часу простоїв ділянок або механізмів АФЛ, рівнеміри сипких чи рідких матеріалів, вологоміри та датчики контролю температур. Для обліку виливків придатні відео датчики. Контроль роботи окремих механізмів пропонується здійснювати с використанням датчиків механічних величин. Контролю також підлягають параметри газодинамічних та теплових потоків, необхідних для охолодження виливків, теплофізичні параметри виливків, показники загазованості повітря в цеху, інші екологічні та безпекові показники згідно ДСТУ.

Пропонована концепція реалізації інформаційної технології оперативного моніторингу стану об'єктів ливарного виробництва актуальна в процесі виконання наукових досліджень і розробок нових технологій для створення на цих етапах передумов впровадження такого моніторингу в ливарне виробництво.

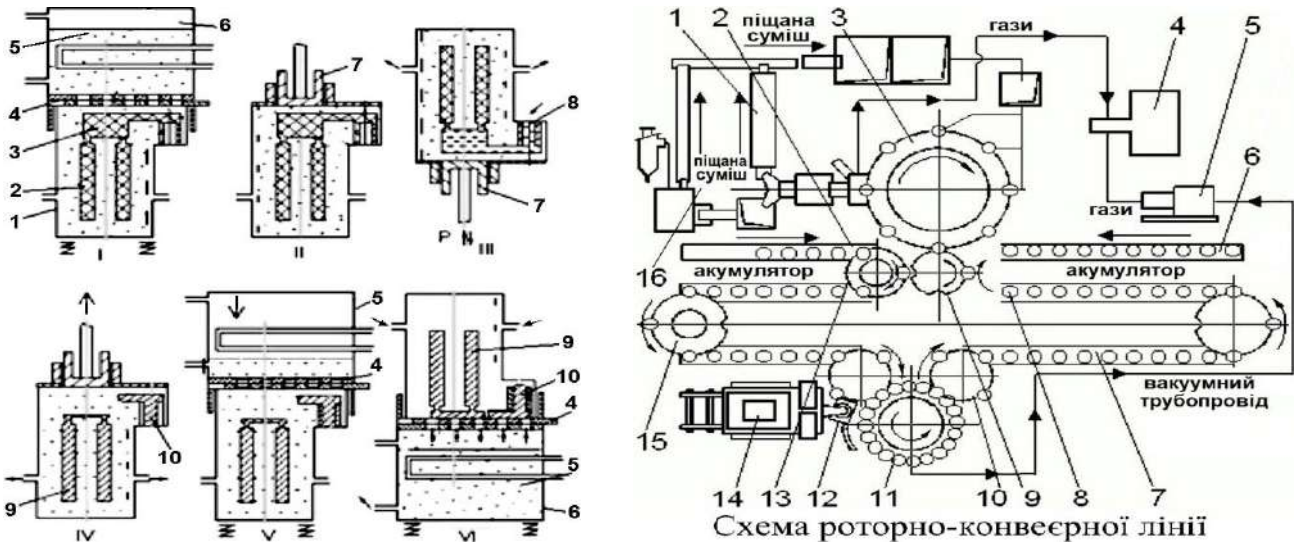
УДК 517.3/621.74

В. С. Дорошенко, В. О. Шинський

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

КОНЦЕПЦІЯ КОМПЛЕКТАЦІЇ РОТОРНО-КОНВЕЄРНОЇ ЛІНІЇ

По темі створення концепції ливарних роторно-конвеєрних ліній (РКЛ) для реалізації нових технологій розглянуто технологічний процес, та схему такої лінії (рис. 1) [1]. Проблема розробки ливарних РКЛ полягає у застосуванні на них способів інтенсифікації охолодження виливків у формі для зменшення конвеєрної «гілки», де виконують таке охолодження, щоб перевести цю операцію на роторні пристрої.



а б

Рис. 1. Схеми: технологічна (а) та комплектації РКЛ (б) [1].

Технологічна схема (рис. 1а) включає: I - формування, II - встановлення камери пресування, III - заливка та вдавлювання рідкого металу, IV - видалення камери пресування, V - під'єднання додаткового бункеру, VI – вилучення та регенерація піску; вказано позиції:1 - контейнер; 2 - полістиролова модель; 3 - ливникова система; 4 - відкриті жалюзі; 5 - пісок; 6 - додатковий бункер; 7 - поршень; 8 - рідкий метал; 9 - виливок; 10 - стояк.

Схема комплектації (рис. 1б): 1 - система охолодження; 2, 6 - акумулятори; 3 - ротор повороту контейнерів; 4 - реактор допалювання шкідливих газів; 5 - вакуумна установка; 7,15 - конвеєр-транспортер; 8 - контейнер; 9, 10, 13 - транспортувальний ротор, 11 - ротор заливки та кристалізації металу під тиском; 12 - ротор установки контейнерів; 14 - магнітодинамічна система; 16 - система регенерації піску.

Проектна продуктивність РКЛ в 1.5-3.0 рази перевершує за продуктивністю сучасні автоматичні ливарні лінії і забезпечує одержання виливків з залізовуглецевих та кольорових сплавів масою до 50 кг з високими споживчими характеристиками [1]. Створення тиску при вдавлюванні рідкого металу прискорює твердіння і охолодження металу та дещо скорочує час охолодження виливків у формі, а наявність акумуляторів дозволяє накопичувати форми, що направляються на заливання металом, а також форми, в яких охолоджують виливки.

Список литературы

1. *Шинський О. Й.* Роторно-конвеєрний комплекс одержання точних виливків під регульованим тиском по моделях, що газифікуються (ГАМОДАР-процес)**.** URL: http://www.ptima.kiev.ua/work/te/rus/te-r40.pdf

УДК 621.746.6:669.046.516.4:669.715

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

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Известно, что физико-механические свойства литого металла зависят от целого ряда факторов различной значимости [1, 2]. Поэтому разработка достаточно универсальных технологических процессов, направленных на снижение непроизводительных потерь металла с одной стороны, и на повышение его качества-с другой, неизменно является актуальной задачей технологов и исследователей.

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

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

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

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

формы должен сформироваться слой твердого сплава такой толщины, который может обеспечить герметичность системы вплоть до полного затвердевания отливки.

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

Список літератури

1. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. – 272 с.

2. 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.

УДК 537.84:669:621.74

В. И. Дубоделов, А.В. Наривский, В. Н. Фикссен, А. Н. Смирнов, М. С. Горюк, К. С. Богдан, А. П. Верзилов, В. К. Погорский, А. Ю. Семенко

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

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

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ И ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ НИХ

Во ФТИМС НАН Украины в последние годы проводятся исследования по изучению комплексного влияния на жидкометаллические системы электромагнитных полей, МГД-эффектов и погруженной в расплав плазмы.

В ходе предыдущих исследований, исходя из фундаментальных положений теории жидкого состояния, теоретически обоснован и экспериментально подтвержден эффект комплексного МГД-термосилового воздействия на жидкие алюминиевые сплавы (до- и заэвтектических силуминов, литейных высокопрочных сплавов, лигатур) в магнитодинамических устройствах, которая заключается в нейтрализации при приготовлении сплавов вредного влияния металлургической наследственности и кардинальном измельчении имеющихся в расплаве различных по размеру и составу кластеров и их группировок, в дальнейшем проявляется в существенном улучшении структуры (обеспечении субмикрозеренной структуры с тенденцией к наномасштабных превращениям) и повышении основных свойств сплавов в твердом состоянии, особенно пластичности (до 2-4 раз), а после термомеханической обработки (интенсивной пластической деформации) – переходе сплава в состояние сверхпластичности, что предоставляет новые возможности развития технологий изготовления заготовок методом обработки давлением.

Применение погруженной в металлические расплавы на основе алюминия и меди низкотемпературной плазмы также позволило обеспечить, помимо удаления газов и неметаллических включений, разрушение областей микронеоднородностей и группировок и, как следствие – существенное измельчение структуры сплавов и рост их основных физико-механических характеристик.

Дальнейшее развитие состоит в сочетании действия МГД-факторов с влиянием плазмы на металлический расплав как для воздействия на его жидкое

строение, так и для синтеза принципиально новых фаз непосредственно внутри самой металлической матрицы и как результат – МГД-плазменного получения литых композиционных и конструкционных материалов. Создаваемые при этом высокие температурные и концентрационные градиенты приводят к формированию высокодисперсных, когерентных к матрице частиц упрочняющей фазы и обеспечивают их заданное распределение по объему.

Другим ключевым направлением стали дальнейшие работы по созданию нового многофункционального магнитодинамического промежуточного ковша (МД-ПК) для непрерывной разливки, в частности, исследования по возможности адаптации указанного агрегата для технологий получения полунепрерывных литых заготовок в условиях металлургических микрозаводов, непрерывного литья тонких слябов и прямого получения металлического листа из расплава по технологии разливки-прокатки в двухвалковый кристаллизатор.

С учетом требований для таких процессов, новый МД-ПК может быть реализован в двухкамерном исполнении. В таком случае он состоит из приемной камеры, куда поступает расплав из сталеразливочного ковша, и разливочной камеры, где происходит выдача жидкого металла в кристаллизатор МНЛЗ. Камеры МД-ПК соединены индукционными каналами, в которых индуктируется электрический ток и обеспечивается нагрев расплава. Дополнительно установленные электромагниты служат для управления движением жидкого металла. Кроме того, МД-ПК может быть дополнительно оснащен специализированными электромагнитными и МГД-устройствами. Так, в приемной камере может быть установлен электромагнитный перемешиватель, который способен оказывать физического воздействие разных видов переменного магнитного поля (пульсирующего, бегущего, вращающегося) на жидкий металл. На физических моделях было показано, что действие такого перемешивателя способствует удержанию и всплытию в приемной камере неметаллических включений, находящихся в расплаве, и исключает их попадание в разливочную камеру и в дальнейшем – в тело непрерывнолитой заготовки.

В свою очередь, в разливочной камере МД-ПК может быть установлено МГД-устройство другого назначения, обеспечивающее управление шириной, массовым расходом и направлением плоского потока расплава при его разливке.

669.0456.516:669.131.7

А.П. Еременко, А.С. Лоза, А.А. Сиваева, В.В.Мильошина

Днепровский государственный технический университет

г. Каменское

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО ЧУГУНА

Одним из распространенных видов дефектов отливок из легированных чугунов являются загрязненность металла неметаллическими включениями. В отливках, работающих в условиях абразивного износа при значительных нагрузках из белого износостойкого чугуна, их наличие не должно превышать определенного предела, особенно в приповерхностных слоях. Для рафинирования сплавов от неметаллических включений разработаны достаточно эффективные способы обработки, однако их применение не всегда возможно в действующих литейных цехах.

При призводствк отливок «Ротор» из белого износостойкого высокохромистого чугуна необходимо выдерживать жесткие требования по чистоте поверхности и количеству неметаллических включений. Брак отливок по этим видам дефектам являлся превалирующим. Для уменьшения степени загрязнения отливок неметаллическими включениями были испытаны несколько видов фильтров - пенокерамический на основе оксида кремния, пенокерамический на основе оксида циркона, керамический с добавкой оксида магния, керамический на основе карбида титана. Существенное влияние на результаты очистки сплавов при фильтрации может оказывать температура заливки металла. Влияние температуры заливаемого расплава на степень очистки изучалась в промышленных условиях на серийных отливках . Температура заливки чугуна по условия техпроцесса должна находиться в пределах 1440-1520 °С. Использование всех типов фильтров позволило уменьшить степень загрязнеия чугуна более чем в три раза. При температурах чугуна близких к нижнему пределу заливки эффективность фильтров практически одинакова. При температурк заливки 1480 °С и выше степень очистки расплава резко уменьшается, т.е. фильтры перестают эффективно выполнять свои функции. Резкое ухудшение степени очистки при температуре 1500 ^{o}С и выше, связано с термостойкостью

материала из которого изготовлен фильтр. Наилучшие результаты по степени очистки были получены при использовании фильтра на основе карбида титана, показатель степени очистки от 0,0112 до 0,0510. Фильтр на основе карбида титана при температурах 1500^0С и выше эффективно задерживает неметаллические включения. Материал данного фильтра имеет наименьшее значение смачивания жидким расплавом - 126^0 и обладает наиболее высокой, среди указанных выше фильтров, термостойкостью.

Список литературы

1. Чугун: Справочное издание / Под ред. А.Д.Шермана, А.А.Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 334 с

2. Леонтиев М.В. Практика использования керамических фильтров фирмы "LANIK" в литейном производстве и металлургии // Литьё Украины. – 2004. – №4– С.17-21.

3. Особенности использования фильтров "Корнинг" для фильтрации жидких металлов. // Литьё Украины. – 2004. – №7–С.27-30.

4. Керамические фильтры ФКТ // Бюллетень ООО "Термосинтез". -2006.

5. Никитин А.М. Фильтрование чугуна в литниковых системах при заливке форм // Литейное производство.– 1981.–№7–С.11-13.

6. Фишкин Е.Л. Исследование смачиваемости футеровочных материалов расплавленным чугуном и шлаком // Литейное производство.– 1971.–№5–С.18-20.

УДК 621.771

Н. А. Жижкина

Луганский национальный аграрный университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАЛКОВ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В листопрокатном производстве валки, их эксплуатационные показатели, определяют скорость и точность изготовления металлопродукции, ее сортамент.

Одним из наиболее эффективных методов изготовления листопрокатных валков, эксплуатационные показатели которых соответствует современным требованиям заказчиков, является центробежное литье [1]. Однако в процессе литья валков их расплавы неизбежно взаимодействуют с окружающей средой, что приводит к их насыщению различными примесями (кислородом, серой) и снижает эксплуатационные показатели валков.

Исследования [1], убедительно показывают, что вращение расплава при центробежном литье, увеличивая скорость всплытия погруженных в нем включений, снижает в 4 раза по сравнению со стационарным методом его загрязненность неметаллическими частицами по всему объему расплава. Вместе с тем действие центробежных сил на очищение валкового расплава от неметаллических включений является недостаточным для сложнолегированных материалов.

В связи с этим актуальным направлением очищения валкового расплава от неметаллических включений является его рафинирование непосредственно перед заливкой во вращающуюся форму.

Для рафинирования валкового расплава от неметаллических включений в работе предложено введение в него различных активных реагентов (извести, плавикового шпата, кальцинированной соды, карбида кальция и других) с принудительным перемешиванием валкового расплава азотом. Реагенты, активно взаимодействуя с примесями, растворенными в валковом расплаве, одновременно понижают вязкость и температуру плавления образуемого шлака, что ускоряет химические реакции, а дополнительное перемешивание валкового расплава азотом интенсифицирует вывод неметаллических включений из него.

В работе установлено, что введение в расплав компактированного реагента, состоящего из карбида кальция, кальцинированной соды, плавикового шпата и магниевой лигатуры, позволило снизить содержание серы в составе сложнолегированного материала менее 0,02 %, загрязненность неметаллическими включениями в 1,45 раза по сравнению с неочищенным материалом. При этом принудительное перемешивание валкового расплава, предварительно обработанного компактированным реагентом, в разливочном ковше с помощью газообразного азота позволило усреднить состав сложнолегированного материала по всему объему – разница в показаниях содержания химических компонентов не превысило погрешность измерений. В результате валковой материал стал более

однородным по структуре и механическим свойствам. Это гарантировало повышение эксплуатационных показателей валков: наработки – в 1,77 раза.

Список литературы

1. *Жижкина Н. А.* Центробежное литье листопрокатных валков : монография / Н. А. Жижкина. – Брянск: БГТУ, 2016. – 180 с.

УДК 526.521.3

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко

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

Тел.: +38 050 629-95-71; e-mail: dima-petrenko@meta.ua

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ 4-ЦВЕТОВОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Известно, что увеличение количества рабочих волн существенно снижает методические погрешности оптической термометрии. Так, например, при отсутствии априорной информации об излучательных характеристиках объекта методические погрешности классической спектрального отношения пирометрии излучения исключаются в случае «серых» объектов, а для трехцветовой пирометрии – в случае объектов с линейными распределениями излучательной способности. Переход к 4 цветовой параболической термометрии позволяет дополнительно исключить методические погрешности, если спектральное распределение излучательной способности объекта термоконтроля описывается полиномом вида $\varepsilon(\lambda) = a\lambda^2 + b\lambda + c$.

Цель исследования – анализ влияния коэффициентов нелинейности спектрального распределения излучательной способности на методические погрешности 4-х цветовой параболической оптической термометрии. На практике, например, для металлических сплавов, коэффициенты нелинейности обычно не соответствуют параболическому описанию $\varepsilon(\lambda)$ и могут случайно изменяться в некоторых пределах. Модельным распределением излучательной способности выбрано такое, средний уровень $\varepsilon_{ср} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_4)/2$ и коэффициент селективности $k = \varepsilon_1 / \varepsilon_4$

которого соответствуют аппроксимированному распределению вольфрама в вакууме на граничных длинах волн $\lambda_1 = 0{,}5$ и $\lambda_4 = 1{,}1$ мкм при температуре 1600 К [1]. В ходе вычислительного эксперимента коэффициенты нелинейности $Kн_1$ (1) и $Kн_2$ (2) на внутренних длинах волн $\lambda_2 = 0{,}7$ и $\lambda_3 = 0{,}9$ мкм изменялись в пределах от -0,01072 до 0,01072.

$$Kн_1 = \varepsilon_2 - \varepsilon_{2л}, \quad (1)$$

$$Kн_2 = \varepsilon_3 - \varepsilon_{3л}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{2л}, \varepsilon_{3л}$ - значения спектральной излучательной способности на λ_2, λ_3 для линеаризованного по граничным длинам волн распределения $\varepsilon(\lambda)$.

Результаты вычислительного эксперимента представлены на Рис.1.

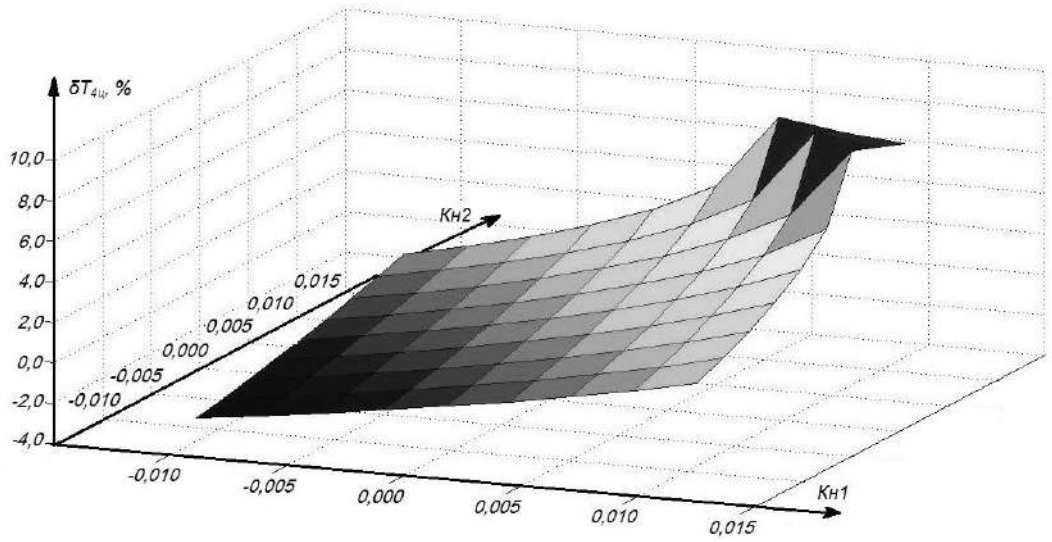


Рис 1 – Зависимости относительных методических погрешностей 4 цветовой параболической пирометрии излучения на $\lambda_1 = 0{,}5$ мкм, $\lambda_2 = 0{,}7$ мкм, $\lambda_3 = 0{,}9$ мкм, $\lambda_4 = 1{,}1$ мкм от $Kн_1$ и $Kн_2$ при Т=1600 К, $\varepsilon_{ср} = 0{,}41246$, $k = 1{,}29929$.

Относительные методические погрешности исследуемого метода плавно изменяются от -3,35 % до 8,06 %. При одинаковых коэффициентах нелинейности погрешности по модулю не превышают 0,59 %. Для того, чтобы они находились в пределах 1 %, необходимо выдерживать отличие коэффициентов нелинейности не более чем на 20 %. Для исключения методических погрешностей $|Kн_1|$ и $|Kн_2|$ должны соответствовать параболической зависимости $\varepsilon(\lambda)$, причем $|Kн_2| > |Kн_1|$, либо же, $|Kн_2| = |Kн_1| = 0$.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено существенное влияние коэффициентов нелинейности на внутренних длинах волн на методические погрешности 4-х цветовой параболической пирометрии излучения. Для минимизации погрешностей необходимо соответствие коэффициентов нелинейности параболической зависимости $\varepsilon(\lambda)$ или их равенство.

Список литературы

1. *Жуков Л. Ф., Корниенко А. Л.* Новые технологии многоцветовой симметрично-волновой термометрии и их метрологические характеристики. // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т.87, №2. – С.473-482.

УДК 526.521.3

Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко

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

Тел.: +38 050 629-95-71; e-mail: dima-petrenko@meta.ua

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ НА МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДВУХЦВЕТОВОЙ КОМПЕНСАЦИОННОЙ И КЛАССИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Применительно к двухцветовой термометрии, излучательные свойства металлических сплавов как объектов термоконтроля можно количественно характеризовать средним уровнем излучательной способности $\varepsilon_{\text{ср.}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$ и коэффициентом селективности $k = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$. В условиях металлургии, под воздействием множества факторов, эти характеристики могут одновременно и независимо изменяться. Поэтому, случайные изменения излучательных характеристик металлических сплавов в широких пределах существенно ограничивают использование классической термометрии вследствие высокого уровня её методических погрешностей.

Для исследований были заданы диапазоны изменений $\varepsilon_{\text{ср.}}$ (0,317...0,517) и k (1,000…1,186), характерные для наиболее распространенных в металлургии

железоуглеродистых сплавов в оптимальных зонах визирования. Определены настроечные значения $\varepsilon_{\text{ср.н}} = 0,417$ и $k_{\text{н}} = 1,093$, соответствующие серединам указанных диапазонов изменений излучательных характеристик. Эти настроечные значения соответствуют вольфраму в вакууме при температуре 1600 К в спектральном диапазоне 0,7…0,9 мкм [1]. Соответственно введены температурные поправки для классической энергетической на λ_1 (Э1) и λ_2 (Э2), спектрального отношения на $\lambda_{экв} = \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ (СО), а также для двухцветовой компенсационной (ДКПИ) пирометрии излучения. С использованием математических моделей указанных методов, рассчитаны их методические погрешности.

Анализ полученных результатов показывает, что, в отличие от Э1, Э2 и СО пирометрии излучения, при $\varepsilon_{\text{ср.}} = \varepsilon_{\text{ср.н}}$, погрешности ДКПИ минимальны и практически не зависят от селективности излучения [2]. Установлено, что в интервале значений $1,0203 \le k \le 1,1522$, в зависимости от сочетаний k и $\varepsilon_{\text{ср.}}$, выполняются следующие соотношения погрешностей: $\left|\delta T_{\text{СО}}\right| < \left|\delta T_{\text{Э1}}\right| < \left|\delta T_{\text{ДКПИ}}\right| < \left|\delta T_{\text{Э2}}\right|$, $\left|\delta T_{\text{СО}}\right| = \left|\delta T_{\text{Э1}}\right| = \left|\delta T_{\text{ДКПИ}}\right| = \left|\delta T_{\text{Э2}}\right|$ и $\left|\delta T_{CO}\right| > \left|\delta T_{\text{Э1}}\right| > \left|\delta T_{\text{ДКПИ}}\right| > \left|\delta T_{\text{Э2}}\right|$. За пределами этого интервала однозначно $\left|\delta T_{\text{СО}}\right| > \left|\delta T_{\text{Э1}}\right| > \left|\delta T_{\text{ДКПИ}}\right| > \left|\delta T_{\text{Э2}}\right|$. Интересно то, что при $1,0203 \le k \le 1,1522$, $0,317 \le \varepsilon_{ср.} \le 0,517$, если излучательные характеристики связаны зависимостью вида $k = -0,6450 \cdot \varepsilon_{\text{ср.}}^2 + 1,1974 \cdot \varepsilon_{\text{ср.}} + 0,7055$, то погрешности всех исследованных методов равны и находятся в диапазоне от -2,33 до 1,90 %.

Отклонения (верхнее и нижнее) среднего уровня излучательной способности от настроечного значения, при которых методические погрешности ДКПИ не превышают ±1,0 %, составляют 0,046 и -0,042, соответственно. Для предела погрешности ±0,5 % отклонения составляют соответственно 0,022 и -0,019. В этих же условиях, при изменении коэффициента селективности от 1,000 до 1,186, погрешности СО пирометрии излучения достигают 3 %.

Таким образом, в результате исследований комплексного влияния среднего уровня излучательной способности металлических сплавов и коэффициента селективности на методические погрешности оптической термометрии установлены высокие метрологические характеристики ДКПИ для бесконтактного термоконтроля металлических сплавов. В отличие от классической, методические погрешности двухцветовой компенсационной пирометрии излучения практически не зависят от

селективности излучения термометрируемых сплавов. Определены отклонения среднего уровня излучательной способности от настроечного, при которых обеспечивается заданная методическая погрешность ДКПИ.

Список литературы

1. *Шейндлин А. Е.* Излучательные свойства твердых материалов: Справочник. // М: Энергия, 1974. – 448 с.

2. *Жуков Л. Ф., Петренко Д. А.* Влияние селективности теплового излучения металлических сплавов на методические погрешности их классической и двухцветовой компенсационной термометрии. // Промышленная теплотехника. – 2017. – Т. 39, №1. – С. 79-83.

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

Л. Ф. Жуков, М. И. Смирнов, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко

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

Тел.: +38 050 629-95-71; e-mail: dima-petrenko@meta.ua

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АСУТП ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ, МИКСЕРОВАНИЯ И РАЗЛИВКИ ЧУГУНА

Непрерывный термоконтроль расплавов, в частности, чугуна, в металлургических печах и агрегатах является актуальной и сложной задачей для предприятий металлургии и металлургии машиностроения. Только непрерывный контроль температуры расплавов обеспечивает стабильное получение металлопродукции с заданными свойствами при минимально возможных ресурсозатратах и создает надежную основу для автоматизации наиболее трудоемких технологических процессов и создания автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) [1].

На основе непрерывного световодного термоконтроля установлены закономерности влияния контролируемых определяющих параметров, в том числе массы зумпфа, мощности, состава и массы загружаемых доз шихты, режимов загрузки шихтовых материалов, температур и режимов наплавления тигля

металлом, перегрева и термостатирования расплава и ошлакования футеровки на ресурсо- и энергозатраты, а также производительность процессов плавки, выдержки и миксерования металла в индукционных печах.

С использованием установленных закономерностей влияния определяющих параметров и непрерывного световодного термоконтроля ФТИМС НАНУ разработана АСУТП плавки, миксерования и разливки жидкого чугуна, в том числе на литейных предприятиях автомобиле-, трактоpo- и двигателестроения, использующих моно-, дуплекс- и триплекс-процессы [1]. Она представляет собой методы и технологические алгоритмы комплексного контроля и управления индукционными процессами, позволяющие снизить энергозатраты, исключить брак и аварии, связанные с отклонением температурных режимов от нормативных, а также повысить сроки эксплуатации футеровки и производительность металлургического оборудования. При наличии АСУТП расходы на установку световодного термоконтроля окупаются за короткое время.

В результате промышленных испытаний и внедрения АСУТП на предприятиях металлургии и металлургии машиностроения установлено, что она снижает энергозатраты (20%-80%), брак «по температуре» (40%-100%), угар шихтовых материалов (20%-30%), а также повышает срок службы футеровки (50%-140%) и производительность печей (40%-80%) и исключает аварии, связанные с перегревом или переохлаждением металла. Например, на промышленных печах типа ИЧТ-10 (емкостью 10 т и мощностью 2,2 МВт) достигнуто рекордное, практически двукратное, снижение расхода электроэнергии до 434 кВт·ч на выплавку и перегрев до 1400 ºС 1 т чугуна.

Технологии в составе АСУТП защищены авторскими свидетельствами и патентами в Украине и России, а также 29 зарубежными патентами в Австралии, Болгарии, Германии, Великобритании, Канаде, США, Швеции и Японии, внедрены на отечественных и зарубежных предприятиях.

Список литературы

1. *Zhukov L. F.* Based on modern continuous temperature control PCS for induction processes of receipt, processing and pouring of liquid cast iron at machine-building foundries. // Project Book of 2017 Qingdao International Technology Transfer Conference & Aoshan Eurasian Science and Technology Forum. – Qingdao, November 27-December 1, 2017. – P.251-252.

УДК 621.745.5.06./.07:536.5

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

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

Тел.: +38 050 629-95-71; e-mail: dima-petrenko@meta.ua

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ ПОГРУЖНЫМИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ТСП-Ш

Во многих случаях, в том числе на широко используемых сейчас в Украине металлургических печах и агрегатах малой емкости, технически возможным и наиболее экономически выгодным является периодический контроль температуры портативными контактными термометрами с помощью термоэлектрических сменных преобразователей (ТСП) погружения. Для этих целей производятся и используются отечественные ТСП одноразового погружения, в том числе типов ПТПП-0788, ПТПР-0290 и ПТВР-0688, а также ТСП многоразового погружения типа ПТВР-2 [1].

Недостатки известных решений, такие как, например, низкая механическая прочность конструкции ТСП, неизотермичность терморазъема, существенно ограничивают область применения периодического термоконтроля, снижают количество погружений, а также повышают погрешность и стоимость измерений.

Для устранения перечисленных недостатков, авторами разработан термоэлектрический сменный преобразователь погружения ТСП-Ш (Рис. 1), предназначенный для работы в комплекте с термометром переносным контактным ТПК-05.

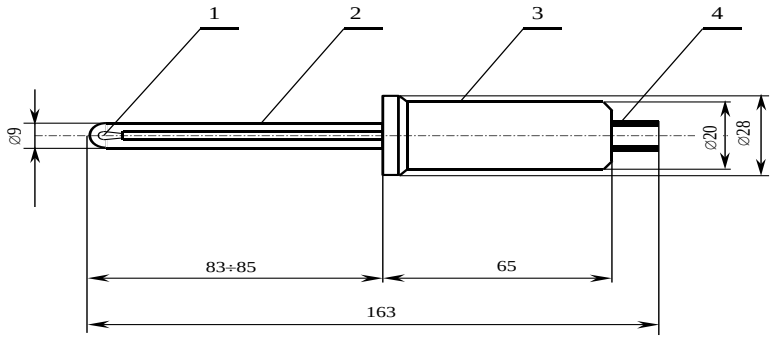


Рис. 1 – Конструкция преобразователя ТСП-Ш: 1 – рабочий контакт; 2 – кварцевый наконечник; 3 – корпус; 4 – стержневые контакты.

Благодаря материалам и конструкции ТСП-Ш дополнительно снижен показатель его термической инерции, а также повышена стойкость к агресивному воздействию жидкого металла. В термометре ТПК-05 применен специальный алгоритм обработки первичной измерительной информации, сокращающий время измерения температуры, в комлекте с ТСП-Ш, до 7-10 с [2]. Термометр ТПК-05 состоит из микропроцессорного вторичного измерительного преобразователя 1 с автономным источником питания и встроенным цифровым индикатором температуры, погружной стальной штанги 2, терморазъема 3 и преобразователя ТСП-Ш 4 (Рис. 2).

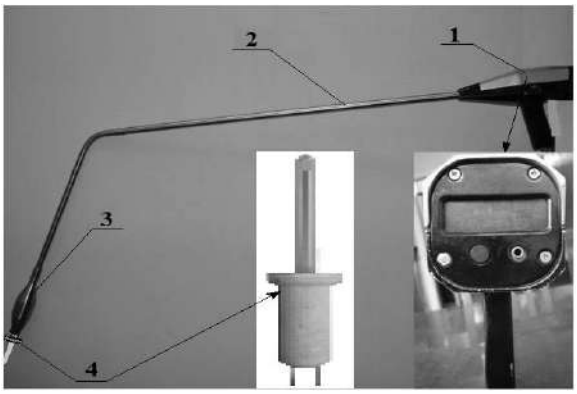


Рис. 2 – Термометр переносной контактный ТПК-05 и преобразователь ТСП-Ш.

В результате испытаний в производственных условиях установлено, что преобразователь ТСП-Ш обеспечивает измерение температуры цветных и железоуглеродистых расплавов в диапазоне от 600 до 1650 °С. Доказано, что на сталях Гадфильда количество погружений на глубину 73…75 мм, при длительности измерений 7…10 с достигает 20. При этом, стоимость преобразователя ТСП-Ш не превышает стоимость ПТВР-2.

Технологии периодического экспрессного контроля температуры защищены патентами и внедрены на отечественных и зарубежных металлургических предприятиях.

Список литературы

1. Каталог продукции НПО «Термоприбор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.thermo.lviv.ua/ukr/catalog/

2. *Жуков Л. Ф., Петренко Д. А., Гончаров А. Л., Корниенко А. Л.* Патент Украины № 95334, МПК G01K 13/12, G01K 7/02. Устройство для измерения

температуры жидких и газообразных сред. Заявл. 29.05.2014, опубл. 25.12.2014, бюл. №24.

УДК 621.74+064.89

Журило Д. Ю.

Харьковский Национальный технический университет радиоэлектроники, Харьков

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В последние годы искусственные нейронные сети получили бурное развитие.Они позволяют автоматизировать процессы распознавания образов, создавать прогнозы, обеспечивать экспертные системы и так далее. Широкий спектр задач, решаемый нейронными сетямиразличного вида, не позволяет сегодня создавать универсальные, мощные сети, вынуждая разрабатывать специализированные сети, функционирующие по различным алгоритмам.

Круг задач, для решения которых используются нейронные сети, во многом совпадает с задачами, решаемыми традиционными статистическими методами. По сравнению с линейными методами статистики (линейная регрессия, авторегрессия, линейный дискриминант), нейронные сети позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных. Из нелинейных методов классической статистики распространен, пожалуй, только байесовский классификатор, строящий квадратичную разделяющую поверхность − нейронная сеть же может построить поверхность более высокого порядка. Высокая нелинейность разделяющей поверхности наивного байесовского классификатора (он не использует ковариационные матрицы классов, как классический байес, а анализирует локальные плотности вероятности) требует значительного суммарного числа примеров для возможности оценивания вероятностей при каждом сочетании интервалов значений переменных − нейронная сеть же обучается на всей выборке данных, не фрагментируя её, что повышает адекватность настройки нейронной сети.

При построении нелинейных моделей (например, полиномиальных) в статистических программах обычно требуется ручное введение-описание модели в

символьном виде с точностью до значений параметров: при N=10 независимых переменных полином второй степени будет содержать N*(N-1)/2=45 коэффициентов при попарных произведениях переменных, 10 при самих переменных, 10 при квадратах значений переменных, т.е. 65 (66 с учетом неоднородного слагаемого) коэффициентов. При двадцати переменных в выражение войдет уже 231 слагаемое. Вводить такие длинные формулы долго, велик риск ошибки. Нейронная сеть же создается путем указания вида структуры, числа слоев и числа нейронов в каждом слое, что гораздо быстрее. А алгоритмы построения растущихнейросетей и вовсе не требуют первоначального задания размера нейронной сети. Альтернативой нейронной сети при построении сложных нелинейных моделей является только метод группового учета аргументов.

Для сжатия и визуализации данных в статистике разработан метод линейных главных компонент. Нейросети-автоассоциаторы позволяют эффективнее сжимать данные за счет построения нелинейных отображений и визуализировать данные в пространстве меньшего числа нелинейных главных компонент.

В литейном производстве нейронные сети уже применяются в автоматизации производства: оптимизации режимов производственного процесса, контроле качества продукции, мониторинге и визуализации многомерной диспетчерской информации, предупреждении аварийных ситуаций, робототехнике.

Нейросети - это новый, гибкий и мощный инструмент решения разнообразных задач обработки и анализа данных. И с каждым годом он будет востребован все больше.

Литература

1. УоссерменФ..Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. М.: Мир,

2. Нейроинформатика / А.Н.Горбань, В.Л.Дунин-Барковский, А.Н.Кирдин и др. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296с.

УДК 621.74+004.925.8

А. Г. Журило, Е. М. Сивак

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МГНЛ

Машина горизонтального непрерывного литья (МГНЛ) является одним из наиболее перспективных устройств для получения литых заготовок различного сечения. Сердцем установки является кристаллизатор – устройство, в котором кристаллизуется расплавленный металл и происходит первичное охлаждение отлитой заготовки перед ее периодическим удалением. До настоящего времени не существует общепринятого подхода к проектированию кристаллизаторов скольжения. Наиболее распространен метод моделирования кристаллизатора гидравлическими моделями.

Геометрические модели кристаллизаторов МГНЛ традиционно строятся на основе сравнительно простых геометрических фигур: прямых, многоугольников, окружностей, многогранников, сфер. Однако очевидно, что этот классический набор, достаточный для описания элементарных структур, становится мало применимым, для таких достаточно сложных объектов, как поле скоростей в турбулентном потоке расплава, тепловое поле отливки, форма фронта кристаллизации, термоконвективные потоки и т.д. Как известно, фрактал «ковер Серпинского» является одним из классических фракталов во фрактальной геометрии, который является двумерным аналогом канторовского множества исключенных средних третей.

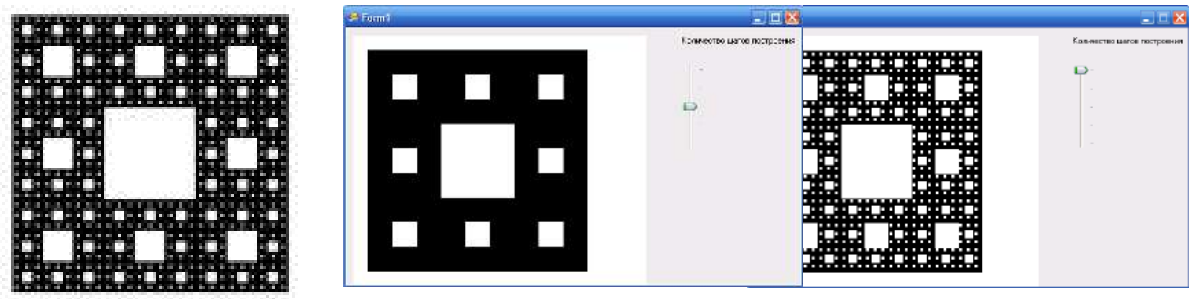


Рис. 1 - Квадратный ковер Серпинского со значением фрактальной размерности D = 1,8928 и шаги его построения

Осесимметричная жидкость (расплавленный металл) в кристаллизаторе распространяется по законам свободной струи, закручивая окружающий расплавленный металл. Это позволяет применять фракталы для моделирования процесса литья и формообразования, учитывать влияние термоконвективных потоков, поступательное движение отливаемой заготовки, вторичное охлаждение за пределами кристаллизатора.

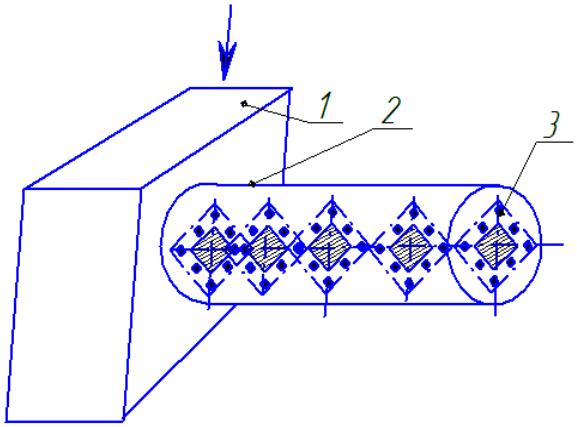


Рис. 2 – Ковер Серпинского при моделировании течении блюма в одноручьевой кристаллизатор скольжения. 1- металлоприемник; 2 – кристаллизатор; 3 – отливаемый блюм.

На основе геометрического моделирования предлагается проектирование основных параметров кристаллизатора скольжения при помощи фракталов. Это позволяет добиться наглядности, повысить точность проектирования и выйти на унификацию основных параметров кристаллизатора. А это, в свою очередь, повышает качество отливаемых заготовок.

Литература

1. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. - М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.

2. Журило А. Г. Теоретические и практические основы проектирования машин непрерывного литья. Монография / А. Г. Журило, Д. Ю. Журило, Ю. В. Моисеев. Х.: НТУ «ХПИ», 2013. — 174 с.

УДК 621.74.043

Н. И. Замятин, В. Н. Замятин

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИГРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ MINECRAFT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

При моделировании различных динамических процессов, в том числе и в литейном производстве, часто исследователь сталкивается с проблемой выбора и реализации модели. Моделирование динамических процессов с изменением свойств среды удобно проводить с использованием метода схоластических клеточных автоматов. Данный метод позволяет менять состояние клетки в зависимости от нового состояния смежных клеток, а также от состояния клеток внутри блока клеток и от таких же смежных блоков.

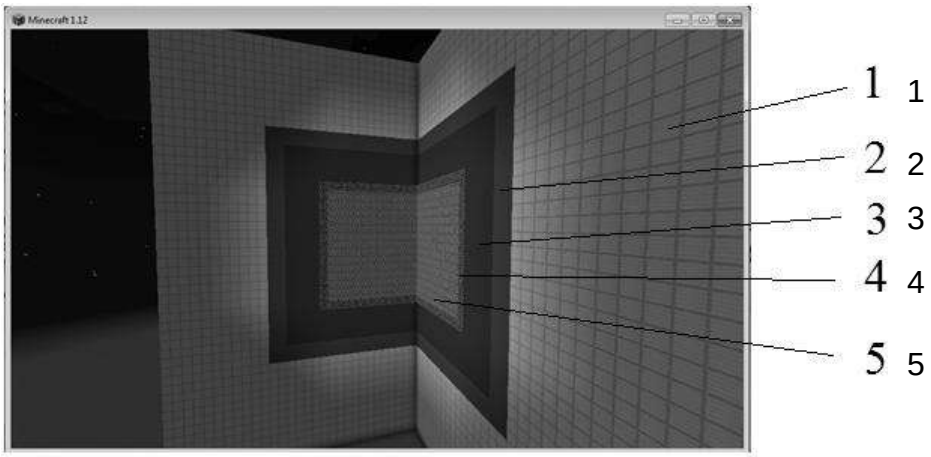


Рис. 1 – Модель кристаллизации отливки, построенная в среде *Minecraft*

1 – кокиль, 2 – термостойкая силиконовая резина, 3 – закристаллизовавшийся расплав, 4 – зона кристаллизации, 5 – жидкий металл.

Для облегчения программирования и визуализации данного метода моделирования можно рекомендовать использование готовых решений, в том числе и из игр. Одной из таких игр может служить игра *Minecraft.*

Minecraft предоставляет из себя трехмерный процедурно генерируемый мир, полностью состоящий из кубических блоков. Каждому блоку можно задать только ему присущие свойства или создать область блоков с одинаковыми свойствами. Так же можно указать взаимодействие межу блоками и их реакцию на изменение внешних условий.

При помощи данной программы был смоделирован процесс кристаллизации оловянного сплава в кокиле с облицовкой из термостойкой силиконовой резины. Результаты расчетов совпадали с экспериментальными данными, что говорит о возможности применения данной модели для расчетов.

УДК 621.774:669.2

Г.М.Засінець, В.М.Кропівний, Ю.В.Бабич

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Сприятливе поєднання фізико-механічних і технологічних властивостей алюмінієвих сплавів визначає їх широке застосування в якості матеріалу деталей гідравлічних машин. У більшості випадків такі відливки виготовляються на ливарних дільницях машинобудівних підприємств. Утилізація стружки в межах машинобудівного підприємства дозволяє суттєво підвищити економічну ефективність виробництва шляхом використання вторинних алюмінієвих сплавів власного виробництва.

Вирішення питань утилізації у металургії вторинного алюмінію пов’язується з використанням екологічно безпечних технологій переробки низькосортної алюмінієвої сировини. Переплав стружки небезпечний можливістю забруднень розплаву газами і неметалевими включеннями, кількість шлаку, що утворюється при переплавці стружки алюмінієвих сплавів може досягати до 40% від маси вторинного сплаву [1]. Необхідно проводити якісну підготовка стружки до переплаву (сушіння, видалення металевих домішок чорних металів і неметалевих включень) та послідуюче рафінування отриманого сплаву.

Об’єктом досліджень була суміш стружки алюмінієвих сплавів марок АК12М2, АК5М2, АК5М2Ц4, АК8М3, АК9М2Ц2, АК6М2Ц3О3. Переплав стружки складає 30 т придатного вторинного сплаву на місяць, що в об’ємі річної виплавки на підприємстві алюмінієвих сплавів складає 7,5%.

Розглянуто наступні напрямки підвищення якості вторинних алюмінієвих ливарних сплавів:

1. Зниження у складі шихти потенційно небезпечних для навколишнього середовища компонентів шляхом їх попередньої підготовки (видалення з МОР при брикетуванні стружки);

2. Удосконалення технології плавки і рафінуючої обробки з метою зменшення кількості утворюємого шлаку.

3. Застосування очищення інертними газами.

Зібрану від оброблюючих центрів алюмінієву стружку перед переплавом витримують протягом 10…15 діб. За цей час відбувається стікання залишків мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) та часткове випаровування вологи. Стружку перед переплавом пресують у брикети діаметром 100 мм та висотою 100 мм. Пресування веде до розігріву пакету за рахунок сил тертя і сприяє додатковому видаленню МОР. Переплавка брикетів проводиться в електричній печі опору Naberteh. Брикети завантажують у попередньо розплавлену рідку ванну металу масою до 30% від маси завалки з температурою 750…800 С, яка покрита шаром флюсу.. Для рафінування застосовували флюс PROBAT-FLUUS AL 224, фірми “SHAFER” (Німеччина). Температура рафінування і розливки розплаву становила 740±10 ^{o}С. Час рафінування складав 30...45 хв. Кількість флюсу змінювали в інтервалі 0,2 - 2% від маси спресованих брикетів. Шлак, отриманий при рафінуванні добавкою флюсу PROBAT-FLUUSS AL 224 у кількості понад 1,5% відносно маси алюмінієвих брикетів флюсу стає порошкоподібним і містить лише окремі невеликі тверді включення. З підвищенням добавки флюсу встановлено лінійне зниження кількості шлаку до 4%. та кількості газових пор у затверділих пробах..

Ефективність дії флюсу залежить від способу введення. Існуюча технологія передбачає введення флюсу в розплав за допомогою дзвіночка. Проведення добавки флюсу до стружки перед пресуванням забезпечує попереднє руйнування оксидних плівок та полегшене плавлення брикетів. Запропоновано технологію дегазації і рафінування з використанням вдування флюсу в розплав за допомогою імпелера, що створює у розплаві об’єм з дрібними бульбашками. При спливанні бульбашок відбувається десорбція з розплаву розчиненого водню. Більш високі показники рафінування та дегазації вторинного алюмінієвого сплаву досягаються при замішуванні флюсу з розплавом при продувці аргоном або азотом. Продувка інертним газом забезпечує якісне проведення рафінування при зменшенні витрат флюсу на 30%.

Результати промислових випробувань технології термо-флюсового переплаву стружки алюмінієвих сплавів показали можливість високопродуктивного отримання якісного вторинного алюмінієвого сплаву.

Список літератури

1. Маткова А.В., Дмитріюк М.В., Щерба А.В. Розробка ресурсозберігаючих технологій переробки відходів виробництва у технологічні алюмінієві сплави //Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк, 2011. Вип. №33,- с.150-152.

УДК 621.745:539.219.1

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

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

*Тел./факс.: 044 424 35 42, e-mail: **kompozit@ptima.kiev.ua***

ЛИТЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ, АРМИРОВАННЫЕ МАКРО-ЭЛЕМЕНТАМИ И ЭНДОГЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ В ПРОЦЕССЕ ЖИДКОТВЕРДОЙ КОНСОЛИДАЦИИ

Большинство технологий производства литых металломатричных композиционных материалов с армирующими гранулами более тугоплавкого сплава не предполагают синтеза новых структурных элементов в процессе изготовления. После литья армирующие элементы сохраняют заранее заданное регулярное расположение, армирующие гранулы практически не меняют свою структуру и форму. Авторы даже предостерегают от изменений в структуре, ориентируясь на конкретные условия эксплуатации изделий. Внимание уделяется созданию надежного контакта между матрицей и армирующими элементами. Методы создания литых композитов с металлическими армирующими частицами ограничиваются подбором исходных компонентов и применением внешних механических воздействий в температурных интервалах, где взаимодействие растворов компонентов не проявляется на конечной структуре.

Выйдя за рамки принятых температурных режимов, перегрев матричный расплав и увеличив время выдержки, можно производить новые материалы, где в

структуре появляются новые элементы, образованные в результате частичного растворения поверхности армирующих элементов в расплаве матричного сплава, а также выделившиеся из взаимных растворов (рисунки 1, 2).

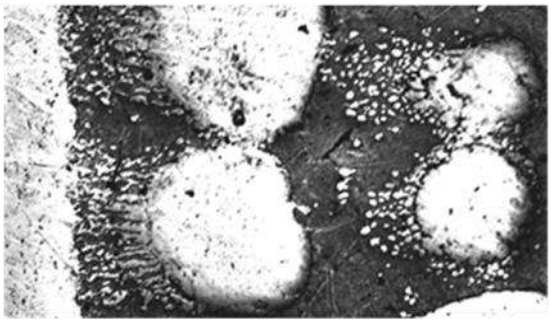


Рис.1 - Мелкие эндогенные частицы, образующиеся в литом композиционном материале, состоящем из бронзы и стальных гранул размерами 2–4 мм.

На рисунке 2 изображена структура литого композита армированного стальными частицами размером меньше 0,5 мм, синтезированными в процессе твердожидкого совмещения. Контролируемой диспергации поддавались элементы стальной литейной формы, в которую был залит матричный сплав. Синтез происходи во время изотермической выдержки в интервале температур на 100–200°С выше температуры плавления матричного сплава ОЦС 5-5-5 [1].

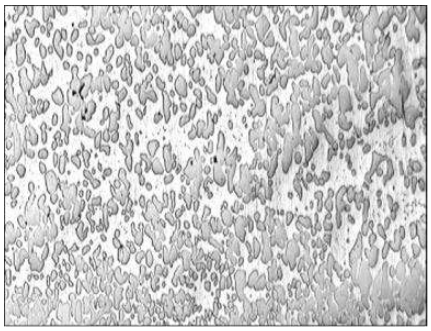


Рис.2 - Дисперсные структуры, формирующиеся при взаимодействии армирующего элемента и матричного расплава.

Материалы с подобными структурами обладают уникальными свойствами и не могут быть получены другими методами. Могут быть использованы для производства антифрикционных изделий с градиентной структурой.

Список літератури

1. Патент України «Антифрикційнийкомпозиційнийматеріал» №73017; МПК (2006) B22F3/26 (2006.01), C10M103/00, C22C 33/02 (2006.01), C22C 38/00, F16C 33/12 (2006.01); опубл. 16.05.2005.бюл. № 8.

УДК 621.74.074:621.7

А.С. Затуловський, В.О.Щерецький, В.А. Лакеєв,О.А.Каранда

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

Тел./факс.: 044 424 35 42 , e-mail: kompozit@ptima.kiev.ua

ЛИВАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ АЛЮМОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В даний час замість традиційних антифрикційних матеріалів все частіше застосовують композиційні матеріали,які одержують із застосуванням ливарних технологій. Литі композиційні матеріали зараз виробляють переважно литтям у форми попередньо підготованих композитних суспензій. Існує два основних способи приготування таких суспензій: ex-situ - введення в рідкий матричний розплав частинок (10-100 мкм) або коротких керамічних волокон (5-15 мм); in-situ - створення зародків керамічних або інтерметалідних фазових частинок внаслідок хімічних реакцій між рідким металевим розплавом матриці і твердими або газоподібними реактивами, що вводяться ззовні. Синтезовані армуючі частки мають досить малі розміри (0,5-2 мкм). Кожен з методів має свої переваги і недоліки. У разі in-situ, до рідкого металевого матричному матеріалу додаються керамічні частинки, зазвичай при перемішуванні матричного металу мішалками різного типу. Простота цього методу нівелюється складністю отримання суспензії необхідної якості перед заливкою у форми. [1] Саме тому надзвичайно актуальна розробка нових технологічних процесів для отримання зносостійких композиційних матеріалів.

У відділі композиційних матеріалів ФТІМС НАНУ розроблена і запатентована оригінальна технологія отримання композитів. Основна ідея розробленої технології полягає в просочуванні металевим розплавом-інфільтратом преформи, яка містить металеву порошкову складову схожого хімічного складу з розплавом, яким просочують. У технологічній схемі етап просочення преформи реалізується без її

попередньої консолідації, тобто пресування або спікання. Введення ультрадисперсних композиційних складових в металеву матрицю здійснюється просоченням мікрогранул, які одержують хіміко-термічною або механічною фіксацією ультрадисперсних частинок на поверхні алюмінієвих порошків розмірами від 100 мкм. За розробленою технологією була отримана серія композиційних матеріалів з вмістом до 70 об.% дисперсних частинок розміром 160-400 мкм і комплексними наповнювачами з вмістом до 5% ультрадисперсних частинок 30-500 нм. Серед наповнювачів, карбіди, нітриди, оксиди, пилеунос, кварцовий пісок. [2]

Для отримання композитів на основі алюмінієвих сплавів також застосовується відцентрове лиття - унікальний спосіб створення заготівок деталей з шаруватою градієнтною структурою, у яких за рахунок спрямованого осадження частинок в рідкометалічній суспензії можуть бути організовані поверхневі зони (шари) з підвищеною концентрацією армуючих частинок [3-5]. Отримання композитів методом відцентрового лиття з горизонтальною віссю обертання дає можливість отримувати заготівки з диференційованим розподілом армуючих елементів по перетину виливка, завдяки одночасному заповненню металом форми по всій довжині виливка і відсутності осідання частинок. Отримані деталі мають армовану зовнішню або внутрішню поверхню (зону), в залежності від співвідношення щільності частинок і матричного сплаву.

В даний час виготовлення литих КМ замішуванням дисперсних частинок в розплав залишається на озброєнні дослідників і технологів, як найбільш простий і універсальний спосіб [6]. Однак, у багатьох випадках, досить складно домогтися рівномірного розподілу армуючих частинок в литві. Тому, на нашу думку, має перспективи застосування МГД-обробки, з використанням змінного магнітного поля (напруженість магнітного поля 0,07-0,09 Тл) рідкого алюмінієвого матричного розплаву, з введеними в нього керамічними частками.

Список літератури

1. ***Braszczynski J.***Litekompozitnimaterialy s kovovoimatrici.: Slevarnistvi, LII, #6, 2004, Brno, S. 209-211.

2. Пат. 36091 України, МПК6 B22F 3/00, C22C 1/00. Спосіб одержання композиційних матеріалів з різним фракційним та хімічним складом компонентів

наповнювача / Щерецький В.О., Затуловський С.С.; заявник та власник ФТІМС НАНУ. – u200806756; заявл. 16.05.2008; опубл. 10.10.2008, бюл. № 19;

3. ***Гусев С.С., Лобков Д.Н., Казачков С.С.*** Использование методов центробежного литья для получения изделий из композиционных материалов с упрочненной поверхностью // «Материаловедение», 1999 г., №5, С. 50-53.

4. ***Эскин Г.И. и др.*** Устранение структурной неоднородности композитов на основе алюминиевых сплавов с целью повышения их качества // Литейное производство, 2001, №9, С. 2-8.

5. ***A. Dolata-Grosz идр.***Strukturastrefowakompozitow AK12-Al2O3-AK12-SiC ksztaltowana w Prozesieodlewaniaodsrodkowedo, Kompozyty, 2002 (2), 5, С. 305-308.

6. ***Чернышова Т.А., Кобелева Л.И., Шебо П., Панфилов А.В.*** Взаимодействие металлических расплавов с армирующими наполнителями. - М.: Наука; 1993, С. 272.

7. ***Затуловский А.С., Лакеев В.А., Фикссен В.Н.*** Исследование влияния МГД обработки и вибрации на микроструктуру и триботехнические свойства литых invitro композитных материалов с матрицей из алюминиевых сплавов. Труды V Международной научно-практической выставки-конференции «Литье 2009» г. Запорожье, Запорожская торгово-промышленная палата, С.172-173.

УДК 621.74.046:669.14

А.С. Затуловський, В.О. Щерецький, В.А. Лакеєв, О.А. Каранда

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України, м. Київ

Тел./факс.: 044 424 35 42, e-mail: ***kompozit@ptima.kiev.ua***

ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАРУВАТИХ БІМЕТАЛІВ СИСТЕМИ «СТАЛЬ + АНТИФРИКЦІЙНИЙ КОМПОЗИТ (ЛКМ)»

Для задоволення сучасних вимог промисловості необхідно розробити нові матеріали з підвищеним в 2-10 разів рівнем зносостійкості. Особливо завдання актуальне для вузлів тертя, що експлуатуються в екстремальних умовах підвищених

навантажень, температур, швидкостей ковзання, в умовах сухого тертя, впливу абразивних частинок.

Істотний техніко-економічний ефект може бути отриманий за рахунок використання нового зносостійкого двошарового композиту: сталь - основа, зносостійкий литий дискретноармований композит (ЛКМ) - плакуючий шар. Перевага біметалевих деталей полягає в тому, що робоча поверхня виробів має високу антифрикційність, яка характерна для композиту ЛКМ, а основний (опорний) шар – володіє міцністю сталевого виробу [1,2].

Триботестування проводили на установці МТ-68 за схемою: випробуваний зразок висотою 15 мм і діаметром 10 мм в парі зі сталевим (Ст.65Г) контртілом, без подачі мастила в зону контакту, швидкість ковзання 5м/с, навантаження 50Н; час випробування 1800 с. Зразки біметалів мали різну товщину плакуючого шару, виконаного з бронзи або ЛКМ. Для порівняння використовували зразки з монсплаву бронзи і ЛКМ. Визначали інтенсивність зношування і коефіцієнт тертя. Як показує аналіз отриманих результатів (див. таблицю 1), біметали системи «сталь + ЛКМ» мають значні переваги, як антифрикційний матеріал в порівнянні з іншими матеріалами, наприклад, з біметалом «сталь + бронза», монсплавом - бронзою БрА9Ж4 (1 = 370мг / км см2, f = 0,32).

Таблиця.1 - Результати трибоіспитів біметалів.

№ зразка	Товщина плакуючого шару, мм	Знос, 1, мг/км·см^2	Коефіцієнт тертя, f
біметал «сталь + ЛКМ»			
1	2,0	8,45	0,35
2	2,8-3,0	11,43	0,33
3	4,6-5,1	14,12	0,31
4	7,8-8,0	15,1	0,31
біметал «сталь + бронза»			
5	2,0	32,99	0,34
6	2,7-3,0	47,79	0,28
7	3,9-4,3	117,2	0,27
8	7,3-6,2	124,39	0,28

Це пояснюється підвищеною конструкційної міцністю основи (сталі), шаруватою будовою биметала і гетерогенністю структури плакуючого ЛКМ. В якості

перешкод, які блокують зародження і особливо розвиток тріщин при навантаженні композитів, служать зміцнюючі частки, межі зерен, блоків та інш. Ще більшою мірою блокування розвитку дефектів відбувається за рахунок впливу границі розділу шарів в біметалах. Поєднання в робочому шарі деталі (ЛКМ) твердих і пластичних складових може різко сповільнити утворення мікротріщин, зрушення твердих армуючих гранул і окремих мезофрагментів матриці. Біметалічні підшипники ковзання «сталь + антифрикційний ЛКМ» використовують в важко навантажених вузлах тертя металургійного, гірничодобувного, транспортного та інш. обладнання. Застосовуючи біметалічні втулки, можна досягти значної економії дефіцитних кольорових сплавів, при одночасному збільшенні в 2-5 разів довговічності надійної роботи вузлів тертя.

Список літератури

1. ***Найдек В.Л., Затуловский А.С., Затуловский С.С.*** //в кн. «50 лет в Академии наук Украины», Киев-ФТИМС НАНУ. 2008. – С. 349-377.

2. ***Чепурко М.И. и др.***Биметаллические материалы. – Л.: Судостроение, 1984. – С. 272.

УДК 517.519.621.745.5

Захарченко Э.В.[1], Бурбелко А.А. [2], Сиренко Е.А[1,]*., Гончаров А.Л. [1], Богдан А.В. [1]

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

[2]Университет Науки и Технологии «Горно-металлургическая Академия», г. Краков

*e-mail: *thermoexp.metal@gmail.com*

НОВЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ МЕТОД ТЕРМИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЖИДКИХ ЧУГУНОВ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОТЛИВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕФЕРЕНСНЫХ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Для эффективного управления качеством готовых отливок с заданными свойствами и минимизирования брака по вине метала очень важно определять его качество до заливки литейных форм. Таким методом определения химического состава, прогноза структуры и некоторых технологических свойств литого сплава, является термический экспресс-анализ.

Киевским Физико-технологическим институтом металлов и сплавов НАН Украины совместно с краковским Университетом науки и технологии «Горно-металлургическая академия» (факультет литейного инжиниринга) разработан и верифицирован новый компьютерный метод термического анализа качества жидких чугунов для предсказания микроструктуры и свойств отливок с использованием референсных кривых охлаждения. Максимальная точность результатов обеспечивается тогда, когда сопоставляются кривые охлаждения образцов чугуна, близких по условиям выплавки и металлургической обработки.

В разработанном методе не используются какие-либо регрессионные соотношения между критическими температурами кривых и показателями качества расплавов.

Метод запатентован в Украине (Патент UA№113333, опубл. в Бюл.10.01.2017г.) и успешно испытан в лабораторных и опытно-промышленных условиях на чугунах индукционной плавки.

Взамен широко применяемых за рубежом экологически вредных наливных песчано-смоляных пробоотборников в новом методе использованы экологически безопасные и более эффективные стальные тонкостенные погружные пробоотборники.

В целом новый метод термического экспресс-анализа характеризуется универсальностью (пригоден не только для чугунов но и для многих других сплавов), самоадаптивностью (обеспечивается за счет использования референсных кривых охлаждения с металлургической предисторией, отвечающей реальным условиям конкретного литейного предприятия и требованиям действующих стандартов), быстротой и простотой (не требуется трудоемкий регрессионный анализ; используется Ньютоновский вариант термоанализа с одной термопарой и первой производной по температуре).

УДК 672.1; 669.13

Захарченко Э.В., Сиренко Е.А*., Зубенина Н.Ф., Богдан А.В., Баранов И.Р., Таранухина Л.Д.

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

*e-mail: *thermoexp.metal@gmail.com*

ТЕНДЕНЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ МОДИФИКАТОРОВ MgLaFeSi ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЧШГ КОВШОВЫМИ СПОСОБАМИ

Лантан содержащие комплексные модификаторы MgLaFeSi, используются в производстве чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ) в течение 40 лет. Сначала исключительно для процессов «in mold», а затем в последние 12 лет его стали чаще использовать для обработки в ковшах. Эти сплавы приобрели популярность по нескольким причинам, таким как: уменьшение усадки, улучшение микроструктурных свойств и более низкий уровень лантана в сплаве по сравнению с общим уровнем редкоземельных элементов (РЗМ) в сплавах на основе мишметалла. Во время кризиса цен на редкоземельные элементы в 2010-2012 годах это превратилось в заметное экономическое преимущество для магний-лантан-ферросилициевых лигатур. В 2004 году доклад доктора Т.Скаланда «Новый метод контроля отбела и усадки ЧШГ полученого ковшовой обработкой» был представлен на Всемирном конгрессе литейщиков, получив награду за лучшую статью.

В докладе было показано, что модификаторы MgLaFeSi имеют гораздо более широкое применение, чем в процессе ин-молд.

За последние 12 лет модификатор на основе лантана MgLaFeSi превратился из узкоцелевого продукта в сфероидизатор массового производства более 1,5 млн. тонн отливок из ЧВГ, исходя из текущих рыночных данных.

Первое использование лантана в качестве единственного источника РЗМ в MgFeSi восходит к ранним годам процесса формовки, когда тенденция к уменьшению усадки была продемонстрирована с помощью чистого LaMgFeSi без использования других РЗМ. Выпуск этих модификаторов увеличил свою долю рынка благодаря успеху за счет уменьшения усадки улучшения механических свойств и улучшения качества механической обработки поверхности отливок. Выяснилась устойчивая тенденция сокращения и устранении усадки. Использование лантана, как было установлено, усиливает выделение включений графита на поздних стадиях

затвердевания ЧШГ, добавляя эффект позднего расширения для уменьшения усадочной пористости.

Первоначальная работа по разработке проводилась при расходе MgLaFeSi 1,5% масс. и вводе в состав MgFeSi 0,5% лантана. Среднее количество добавки MgFeSi в ковшовой практике в настоящее время оценивается примерно в 1,2%.

Обсуждаются результаты исследований концентрации La в MgFeSi и влияния на количество графитовых включений.

Наибольшее количество зародышей было обнаружено при 0,5% La в MgFeSi, причем более низкое зародышеобразование наблюдалось как при более высоких, так и при более низких уровнях лантана.

Следует быть осторожнее при использовании одного и того же уровня для любого процесса. Учитывая важность лантана в уравновешивании вредных элементов, следует принимать во внимание качество исходного расплава чугуна. Для применения лантана должен быть рассчитан стехиометрический баланс, который можно оценить как РЗМ / SubversiveElements = 0.5. (Sub.Elem. = Pb, As, Bi и Sb). Общая концентрация Pb, As, Bi, Sb 0,008 потребовала бы добавления лантана 0,004%.

При переходе с MgFeSi на основе РЗМ лучше не компенсировать снижение количества РЗМ при переходе на классы на основе лантана. При наличии уровней содержания лантана в сплаве выше оптимального, многие из наблюдаемых преимуществ, касающихся усадки и структуры, будут уменьшены, в дополнение к повышению стоимости сплава.

УДК 621.74: 669.13.018

Л. Х. Іванова, А.Ю. Калашнікова, В.О. Терехін

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДВОШАРОВОГО ПРОКАТНОГО ВАЛКА

Чавунні валки є основним змінним інструментом прокатних станів, яке значною мірою впливає на ефективність і якість прокатного виробництва. У сучасних умовах від чавунних валків потрібно високі механічні і експлуатаційні властивості. Існують

різні методи підвищення властивостей прокатних валків, одними з яких є модифікування і термічна обробка.

У роботах [1-2] детально розглянута можливість обробки валкових чавунів комплексними модифікаторами, що містять РЗМ, та індивідуальними РЗМ, але матеріал двошарових прокатних валків модифікуванню до сьогодні ще не піддавали. Для легованих мартенситних чавунів під час теплового оброблення заготовок валків частіше рекомендують повільне нагрівання зі швидкістю 15-25 ^{o}C/год до температури 250-350^{o}C, витримка протягом 8-12 год та повільне охолодження у печі зі швидкістю 15-25 ^{o}C/год, однак досліджень з теплового оброблення двошарових прокатних валків до тепер майже немає.

Метою роботи було дослідження і удосконалення технології виготовлення двошарового прокатного валка з застосуванням комплексної обробки: модифікування комплексним модифікатором, що містить РЗМ, для підвищення властивостей та термічного оброблення заготовки валка, що необхідно для забезпечення підвищеної експлуатаційної надійності.

Для проведення дослідження впливу модифікування на властивості робочого шару прокатних валків виконання ЛПХНд-71 застосовували комплексний модифікатор марки ФС30РЗМ30 наступного хімічного складу, %: Si - 44%; Al - 9%; РЗМ - 32%; Fe ≤ 15%. Плавку дослідного чавуну проводили в індукційній печі моделі ІЧТ-6 в умовах вальцеливарного цеху, температура розплаву перед випуском була 1430-1500ºС. Легований чавун з електропечі зливали у ківш з подрібненим до фракції 30-50 мм комплексним модифікатором у кількості 0,15% від маси розплаву.

Дослідили процеси, що виникають в чавуні робочого шару двошарового валка при охолодженні в діапазоні швидкостей 300…2,5 град/хв, а також вплив циклічного відпалу, які проводили на установці ВДТА-8М. Металографічний аналіз показав, що зі збільшенням кількості циклів до десяти у порівнянні з литим станом збільшувалася кількість фериту у 2,5 разів, тому при циклічному відпалі валкових чавунів в роботі [3] не рекомендовано збільшення кількості циклів більше чотирьох. Таким чином, було прийнято, що для двошарового валка діаметром 500 мм режим теплового оброблення повинен складатися з нагрівання зі швидкістю 25^{o}C/год до температури 150^{o}C, витримки протягом 9,5 год (з двократною циклічністю температури 250 $\Leftrightarrow$ 150^{o}C) та остаточного охолодження у печі зі швидкістю не більше за 25 ^{o}C/год до 80 ^{o}C.

Аналіз структури в різних перерізах бочок валків серійного і дослідного показав, що комплексна обробка призводила до зменшення мікротвердості структурних складових, яке було пов'язано з процесами відпуску бейнітно-мартенситної структури матриці. Порівняльний аналіз структури нижніх і верхніх шийок серійного і дослідного валків показав, що комплексна обробка не приводила до значних структурних змін.

Отримані результати досліджень показали доцільність застосування для модифікування чавуну робочого шару двошарових прокатних валків комплексного модифікатору на основі рідкоземельних металів та термічної обробки литих заготовок валків і їх позитивний вплив на фізико-механічні та службові властивості: матеріал дослідного валка (після комплексної обробки) у порівнянні з серійним на відстані 10-30 мм від поверхні бочки мав підвищені властивості: границя міцності при розтягу $\sigma_в$ була більшою на 3-7, границя міцності при вигині σ_u - на 2-3, ударна в'язкість $a_к$ - на 4-15, а термостійкість - на 27%.

Список літератури

1. Белай, Г.Е. Исследование влияния модифицирования на кристаллизацию чугуна, структуру и свойства листопрокатных валков: Автореф. дис.… канд. техн. наук: 05.323/ Белай Григорий Емельянович; Днепропетр. металлург. ин-т.– Днепропетровск, 1967.– 23 с.

2. Колотило, Е.В. Исследование и усовершенствование процессов производства листопрокатных валков из модифицированных чугунов: Автореф. дис.… канд. техн. наук: 05.16.04 / Колотило Евгений Викторович; Днепропетр. металлург. ин-т.– Днепропетровск, 1977.– 24 с.

3. Иванова, Л.Х. Влияние отпуска на структуру и свойства двухслойных прокатных валков / Л.Х. Иванова, А.Ю. Калашникова // Проблемы високотемпературной техники: сб. науч. тр. ДНУ им. О.Гончара.– Днепропетровск: Пороги, 2013. – С.97–100.

УДК 536.717:532:739.2

В. В. Каверинский, З. П. Сухенко

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НОРМАЛИЗАЦИИ И ЗАКАЛКЕ ВТУЛКИ И СТАЛИ 30ХГСА

Эскиз втулки приведен на рисунке 1. На плоскости сечения отмечены пронумерованные точки, для которых осуществлялось моделирование кинетики распада переохлаждённого аустенита. Материал – сталь 30ХГСА (состав согласно [1]).

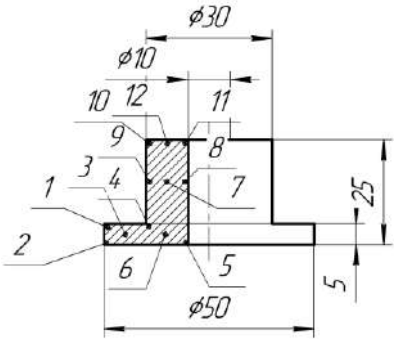
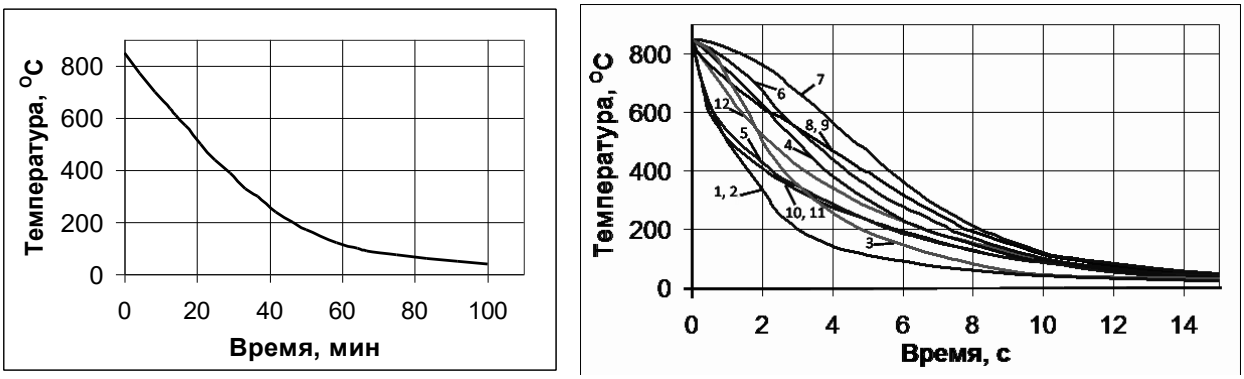


Рис. 1. – Эскиз втулки, с указанием характерных точек

Моделировались процессы нормализации (охлаждение на воздухе) и закалки (охлаждение в воде). Температура нагрева в обоих случаях составляла 880 ºС. Коэффициент теплоотдачи при охлаждении на воздухе принимался равным 10 Вт/(м^2·К), в воде – 5 кВт/(м^2·К). Моделирование охлаждения велось методом конечных элементов. В характерных, отмеченных на эскизе, точках сечения записаны кривые охлаждения. Они служили исходными данными условий процесса для моделирования кинетики распада аустенита. Дополнительным результатом, получаемым в ходе моделирования, являются данные о характере образующейся структуры. Таким образом, в ходе расчётов предсказано распределение структуры по сечению данной втулки. Для моделирования кинетики фазовых превращений использовалась разработанная нами ранее программа [2].

Как показал теплофизический расчёт, при охлаждении на воздухе кривые охлаждения во всех точках отличались крайне незначительно. Следовательно, при нормализации охлаждение данной втулки можно считать однородным по сечению.

Кривая охлаждения приведена на рисунке 2 (а). При закалке в воде имеет место большая неоднородность охлаждения по сечению – рисунок 2 (б). Цифрами обозначено соответствие кривых охлаждения точкам, отмеченными на рисунке 1.



а) б)

Рис. 2 – Кривые охлаждения металла втулки: а) нормализация, б) закалка

Согласно результатам моделирования, после нормализации металл втулки имеет следующую структуру: феррит ~ 67 %, перлит ~ 32 %, бейнит ~ %. Данные о структуре металла в отмеченных точках, после закалки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение характеристик структуры по сечению втулки

№ точки	Феррит, %	Перлит, %	Мартенсит, %
1, 2	1,6	0,2	98,2
3	3,8	0,4	95,8
4	13,0	0,6	86,3
5	3,3	0,5	96,2
6	13,6	0,7	85,7
7	21,3	0,7	78,0
8, 9	25,0	1,1	73,9
10, 11	2,1	0,5	97,4
12	8,8	0,7	90,5

Из полученных результатов видно, что в наибольшей степени на мартенсит закален металл выступа, а также угловые области. Материал средней части тела втулки закален в меньшей степени, причём не только во глубинных слоях, но и на поверхности. Количество мартенсита возрастает по мере приближения к торцевым поверхностям. Образование бейнитных структур моделью не предсказано.

Список литературы

1. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин. – Москва: Машиностроение, 1989. – 640 с.

2. Каверинський В. В. Комп'ютерна програма для моделювання фазових перетворень / В. В. Каверинський. – Україна, 2017. – (02.19.2017; № 70573).

УДК 621.74.669.131.622

Калинин В.Т., Кривошеев В.А., Меняйло Е.В., Другов Д.С., Новодран А.В.
Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ДОМЕННЫХ ЧУГУНОВ, ЛЕГИРОВАНИЯ И НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ИХ РАСПЛАВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

При производстве литой продукции качество отливок формируется в процессеподбора шихтового чугуна, разработки рациональных режимов проведения плавки, легирования и наномодифицирования литейных расплавов в печи, ковше или форме.

Для установления возможности эффективного влияния на качество отливок на всех этапах их производства были исследованы и прошли опытно-промышленную проверку процессы рафинирования доменных чугунов, легирования и наномодифицирования литейных расплавов.

Исследования проводили в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях при производстве ответственного литья на ряде учреждениий и предприятий: НМетАУ, ИЧМ НАНУ, ПАО «МК «Азовсталь», ПАО «Днепропетровский завод прокатных валков», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Мелитопольском моторном и Харьковском машиностроительном заводах. Объектом исследований были выбраны наиболее ответственные отливки, широко применяемые в народном хозяйстве: коленчатые валы, цилиндровое литье, автомобильные отливки из высокопрочного и серого чугунов, прокатные отбеленные и отбеленно-магниевые валки, чугунные сталеразливочные изложницы, мелющие шары и др.

Установлены оптимальные параметры технологии производства отливок: применение в шихте низкосернистого чугуна марки ЛР7 с содержанием серы менее

0,01%, чистого по газам и спели, легирование литейных расплавов 0,2% W или Nb, наномодифицирование 0,05% Ti(CN) для отливок из белого чугуна и половинчатого чугунов и0,05% SiC - для отливок из серого чугуна, применение паст и припылов, содержащих наноматериалы, для покрытия формы в местах возникновения «горячих трещин» для упрочнения поверхностного слоя кристаллизующейся отливки.

Опытно-промышленная проверка комплексной технологии показала, что дополнительное легирование валкового чугуна положительно влияет на перекристаллизацию при 200-300^{o}C, снижая скорость превращения, что уменьшает вероятность возникновения «волосовидных трещин».

Наномодифицирование чугуна способствует ускорению процесса кристаллизации, особенно в поверхностной части отливки, способствует получению мелкозернистой структуры, уменьшению транскристалличности, снижению усадочной пористости и, как следствие, повышению прочностных характеристик.

При соблюдении рекомендуемых параметров комплексной технологии эксплуатационная стойкость сталеразливочных изложниц увеличилась на 30%, мелющих шаров – на 20%, брак валков снизился на 5%, а брак коленчатых валков и поршней двигателей – на 20%.

УДК 621.742.44

В. П. Каргинов, В. Г. Иванов

ООО «НПП «СОЮЗ», Днепр

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЧУГУННОГО ЛИТЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ СМЕСИ

Устранение пригара и получение качественной поверхности чугунных отливок при литье в песчано-глинистые формы достигается применением в составе формовочных смесей углеродсодержащих веществ. Традиционно такой добавкой в литейных цехах служил молотый уголь. Однако зачастую его применение не имеет требуемой эффективности, что связывают с недостаточным количеством в его

составе «блестящего» углерода, т. е. углерода осаждающегося на поверхности кварцевого песка и ухудшающего смачиваемость, а значит предотвращающее активное взаимодействие металла с формой.

Исследовали угли украинских месторождений (Донецкой, Днепровской и Львовской областей) на возможность применения в литейном производстве. Оценивались угли по необходимым требованиям: показателям выхода блестящего углерода, содержания летучих веществ, серы, зольности, толщины пластического слоя, температурного интервала размягчения и др. Особый интерес представляло определить выход блестящего углерода, так как данный показатель является основным фактором, оказывающим влияние на пригар чугунных отливок. Этот показатель не определяется в практике отечественного литейного производства из-за отсутствия принятой методики его определения. Эффективность противопригарных добавок в литейных цехах обычно оценивают по показателям потерь при прокаливании формовочных смесей, которая должна находится в пределах 4 – 6 %. Остальные показатели углей обычно имеются в сертификатах генетических, технологических и качественных характеристик на угольную продукцию, которые выдаются соответствующими лабораториями.

Для экспериментов использовали ускоренную методику определения блестящего углерода и твердого остатка, принятую в Германии и Польше известной как MERKBLATT P-85, а также определяли потери при прокаливании формовочных смесей с данными углями. Дополнительно оценивали величину пригара на чугунных образцах, отливаемых в песчано-бентонитовые формы с добавкой исследуемых углей.

Установлено, что образцы углей украинских месторождений удовлетворяют необходимым требованиям не в полной мере. Если показатели содержания летучих (30 – 40 %), серы (1,0 – 1,6 %) и зольности (10 - 20 %) находятся практически в приемлемой зоне, то значение выхода блестящего углерода (не более 3-5 %) не соответствуют необходимому уровню. Потери при прокаливании формовочных смесей с данными углями составляли более 7,0%, а все чугунные образцы, отлитые в песчано-бентонитовые формы с добавкой этих углей, отличались значительным пригаром.

Поэтому для обеспечения высоких антипригарных свойств угли необходимо подвергать существенной доработке: модифицировать компонентами, повышающими выход блестящего углерода, поверхностную прочность и другие

необходимые показатели, не ухудшая при этом физико-механических характеристик формовочной смеси.

ООО НПП «СОЮЗ» была разработана специальная синтетическая комплексная противопригарная добавка, получившая название МК10лА «Контрасанд», которая удовлетворяет всем необходимым требованиям к таким материалам и не уступающая импортным аналогам. Выход блестящего углерода находится в пределах 10…13%, содержание летучих - до 40%. По гранулометрическому и химическому составу «Контрасанд» - аналог зарубежных премиксов «КАРБОЛУКСОН», «АНТРАПУР», «НАЙВОК» и др.

Добавка МК10лА «Котрасанд» прошла промышленные испытания на ряде отечественных предприятий и показала свою эффективность: снизила или полностью устранила пригар, ужимины, ситовидную пористость, сократила время дробеметной очистки; упростила технологию ввода добавки (развес добавки фасуется в соответствии с объемом смесителя заказчика).

Таким образом, противопригарная добавка МК10лА «Котрасанд» является одним из резервов повышения качества поверхности чугунных отливок, улучшения ее товарного вида, снижения расходов на финишные операции и, в конечном итоге, повышения конкурентоспособности литейной продукции.

УДК 669.18-412:621.746

С. Є. Кондратюк, Ж. В. Пархомчук, В. І. Вейс

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

Тел.: +38(*044)424-41-42, e-mail:* zhanna.mom@ptima.kiev.ua

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ЛИТОЇ ПЕРЕГРІТОЇ СТАЛІ

Практикою ливарного виробництва визначено оптимальний інтервал температур розливання розплаву сталей у ливарні форми з перевищенням температури рівноважного ліквідусу на 30 – 50 °С. За певного підвищення температури перегріву розправу розмір зерна у сталевих виливках суттєво збільшується, зумовлюючи зниження опору литої сталі крихкому руйнуванню. Виходячи із сучасних уявлень щодо процесів плавлення і кристалізації, відкриваються нові можливості цілеспрямованої зміни і керування фазово-

структурним станом і властивостями сталевих виливків за рахунок оптимізації температурно-часових параметрів розправу під час плавлення і кристалізації сталей.

На основі системних досліджень конструкційних сталей 25Л, 45Л, 25ХГСТФЛ і 45ХГСТФЛ встановлено закономірні зміни їх литої структури і механічних властивостей залежно від перегріву розплаву при температурах 1520, 1570 °С, 1620 °С і 1670 °С та зміни швидкості охолодження від 5 до 350 °С/с під час кристалізації.

Експериментально показано значне підвищення характеристик міцності сталі, зумовлене зростаючим ступенем переохолодження розплаву за всіх досліджуваних умов охолодження розплаву при кристалізації. Проте, за низької швидкості охолодження формується грубозерниста лита структура і суттєво, у 1,5 – 2,0 рази, знижуються показники ударної в'язкості. Підвищення ж швидкості охолодження розплаву супроводжується подрібненням зерна і суттєвим підвищенням опору сталей крихкому руйнуванню. Одержані на основі проведених експериментів рівняння регресії взаємозв'язку температуру перегріву розплаву, швидкості його охолодження і механічних властивостей дозволяють прогнозувати і цілеспрямовано змінювати структуру і властивості литих сталевих виробів.

УДК 621.745: 669.714.1

С. В. Кончук, В. В. Пукалов, О. В. Скрипник

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ РАФІНУЮЧИХ ПРЕПАРАТІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ РАФІНУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Алюмінієві сплави широко використовуються в промисловості. Оскільки, при плавці алюмінієвих сплавів для очищення розплаву від включень і газів проводять рафінування, дослідження, спрямовані на удосконалення цих процесів є актуальними. Аналіз термодинамічних характеристик хімічних реакцій, що протікають під час рафінування дозволяє вирішувати задачі впливу зовнішніх факторів на інтенсивність процесу, розробляти рекомендації по спрямуванню процесу в необхідному напрямку.

Дослідити вплив хімічного складу рафінуючих препаратів на інтенсивність процесу рафінування алюмінієвих сплавів можна застосувавши до термодинамічної

системи принцип адитивності. Згідно з цим принципом будь-яка екстенсивна характеристика системи, наприклад ентальпія, буде визначатись з урахуванням аналогічних характеристик компонентів системи та їх кількості.

Для прикладу розглянемо процес рафінування алюмінієвих сплавів за допомогою флюсу, який складається з двох компонентів: хлористого цинку $ZnCl_2$ і хлористого марганцю $MnCl_2$. Причому процентне співвідношення цих компонентів у суміші може змінюватись.

Ентальпія процесу рафінування алюмінієвих сплавів згідно з реакціями $3ZnCl_2 + 2Al = 2AlCl_3 + 3Zn$, $3MnCl_2 + 2Al = 2AlCl_3 + 3Mn$ з урахуванням кількості кожного з компонентів рафінуючого препарату:

$$\Delta H_{сум} = \sum \Delta H_i \cdot X_i \text{ , Дж/моль,}$$

де ΔH_i – ентальпія процесу рафінування і-го компонента рафінуючого флюсу; *Xi* – мольна частка і-го компонента рафінуючого флюсу.

Тоді, для двокомпонентного рафінуючого препарату:

$$\Delta H_{сум} = \Delta H_{ZnCl_2} \cdot X_{ZnCl_2} + \Delta H_{MnCl_2} \cdot X_{MnCl_2} \text{ , Дж/моль,}$$

де, відповідно, ΔH_{ZnCl_2}, ΔH_{MnCl_2} – ентальпії процесів рафінування алюмінію хлористим цинком і хлористим марганцем; X_{ZnCl_2}, X_{MnCl_2} – їх мольні частки.

Аналогічно розраховують ентропію ΔS, вільну енергію Гібса ΔG, логарифм константи рівноваги $\ln K_p$ вказаного процесу. Розрахунок здійснюємо для різних співвідношень компонентів рафінуючого флюсу в інтервалі температур 298…1198 К скориставшись довідковими даними термодинамічних властивостей реагентів [1]. Методика розрахунку описана в [2, 3]. Результати розрахунку представлено на рис. 1 – 4.

З графіка залежності ΔH = f(T) (рис. 1) видно, що реакція екзотермічна, про свідчать від'ємні значення ентальпії. Характер залежності ентропії (рис. 2) в цілс такий же, як і у ентальпії. Виходячи з першого слідства з принципу Потилицина–Шалельє–Брауна (ПЛБ) підвищення температури буде гальмувати протікання да реакції.

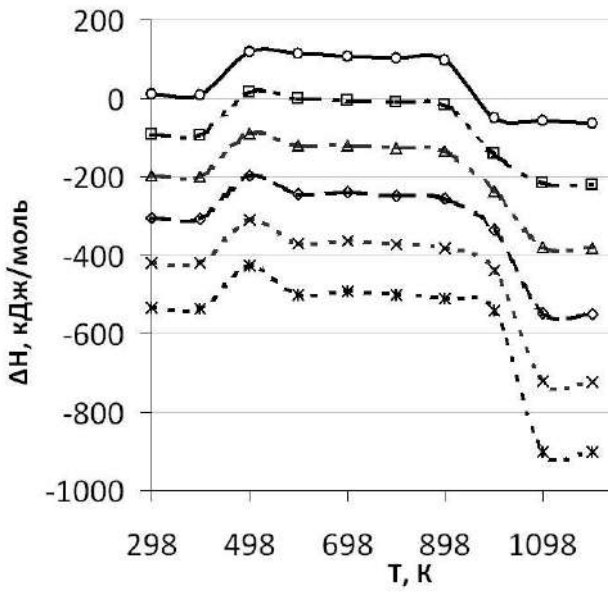


Рис. 1 – Графік залежності ентальпії процесу від температури

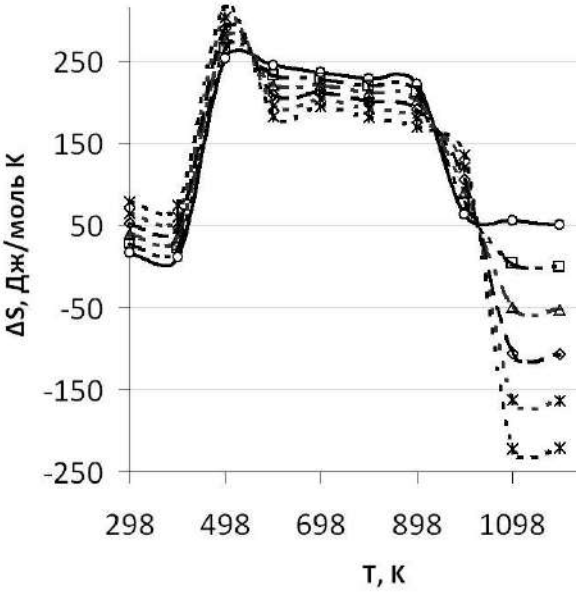


Рис. 2 – Графік залежності ентропії процесу від температури

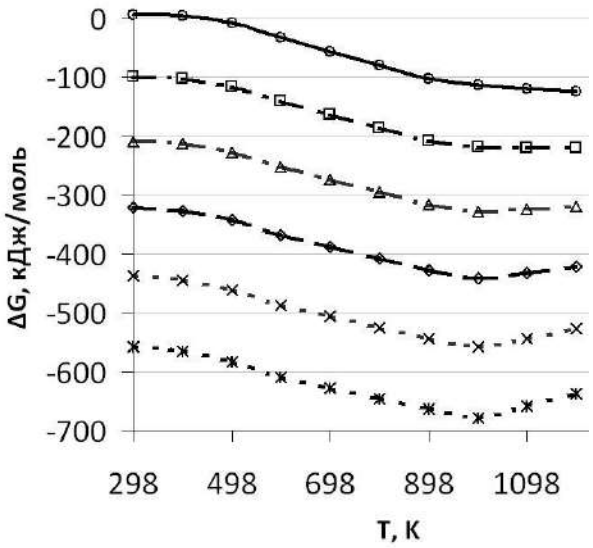


Рис. 3 – Графік залежності енергії Гібса процесу від температури

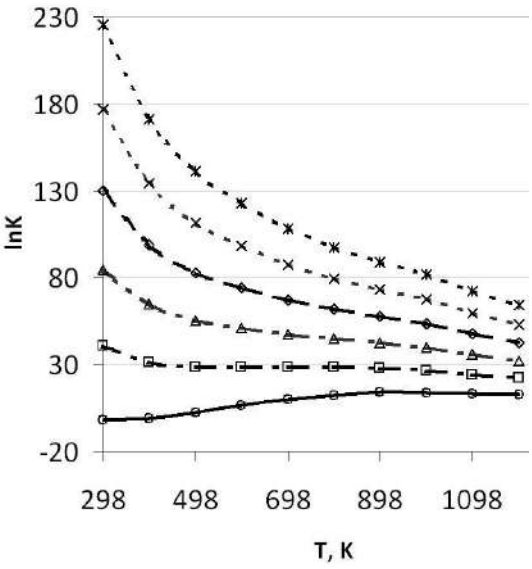


Рис. 4 – Графік залежності логарифму K_p процесу від температури

Отже рафінування необхідно проводити при відносно невисокій температурі металу. Вільна енергія Гібса від'ємна на всьому температурному інтервалі, спадаюча функція з мінімальним значенням при температурі 1005 К (732 °С). Збільшення вмісту хлористого цинку в суміші сприяє зменшенню значення вільної енергії Гібса (рис. 3). Отже, чим більший вміст хлористого цинку в рафінуючому препараті, тим інтенсивніше буде протікати процес рафінування. Це також підтверджується більшими значеннями логарифму константи рівноваги (рис. 4). З другого слідства з

принципу ПЛБ слідує, що при зменшенні тиску в системі повинен проходити процес, який супроводжується збільшенням кількості газоподібних молекул і навпаки. Оскільки, згідно з реакціями відбувається збільшення кількості газоподібних молекул, а саме $AlCl_3$, то для інтенсифікації даного процесу необхідно зменшувати тиск і рафінування доцільно поєднувати з вакуумуванням.

Таким чином, змінюючи хімічний склад рафінуючих препаратів в суміші можна регулювати інтенсивність процесу рафінування: при підвищенні вмісту $ZnCl_2$, інтенсивність процесу рафінування збільшується, при підвищенні вмісту $MnCl_2$, інтенсивність процесу рафінування зменшується.

Описана методика дозволяє отримувати аналогічні співвідношення для довільної кількості компонентів рафінуючого флюсу.

Список літератури

1. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / Под ред. *А.П. Зефирова*. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.

2. Конончук С.В., Пукалов В.В. Дослідження термодинамічних характеристик процесу рафінування алюмінієвих сплавів хлористим цинком // Матеріали XIII Міжнародної науково-практчної конференції «Литво-2017» 23-25 травня 2017 р. – Запоріжжя. – С. 137-139.

3. *Сабірзянов Т.Г.* Теплотехніка ливарних процесів [Навчальний посібник для студентів-ливарників] / *Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний*. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402с.

УДК 621.74.043.1

С. В. Конончук, В. В. Пукалов

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ ВИЛИВКА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ 3D-МОДЕЛІ НА МІЦНІСТЬ СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION

Для визначення шляхів удосконалення технології лиття необхідно проаналізувати можливість зміни параметрів, які впливають на зменшення

собівартості виробництва (зменшення енерговитрат, матеріалоємності, підвищення продуктивності) та підвищення якості литва.

Ще на етапі проектування при аналізі конструкції деталі та розробці технічних вимог на виливок можна передбачити ребра жорсткості (по можливості) такої конфігурації, при якій досягається максимальна міцність при мінімальній витраті металу [1].

Необхідність впровадження у виробництво найскладнішої техніки в короткий термін приводить до створення систем комп'ютерного автоматизованого проектування. Важливу роль у цих системах відіграють засоби моделювання досліджень, зокрема на міцність.

На основі результатів твердотільного моделювання виливка «Корпус НШ32УК» проведено дослідження на міцність в Cad-модулі Solidworks Simulation, що є функціональним компонентом Solidworks, та розроблено рекомендації щодо зміцнення виливка ребрами жорсткості в найбільш навантажених місцях, а також зменшення його металоємності в найменш навантажених.

Модуль Solidworks Simulation дозволяє на основі розробленої 3D-моделі та введених початкових навантажень побудувати діаграми еквівалентних деформацій, сумарних переміщень, розподілу коефіцієнта мінімального запасу міцності, напруги, сумарних переміщень і розподілу навантаження в об'ємі виливка [2].

Для визначення найбільш напружених частин виливка проведено дослідження на розподіл навантаження в об'ємі деталі (рис. 1).

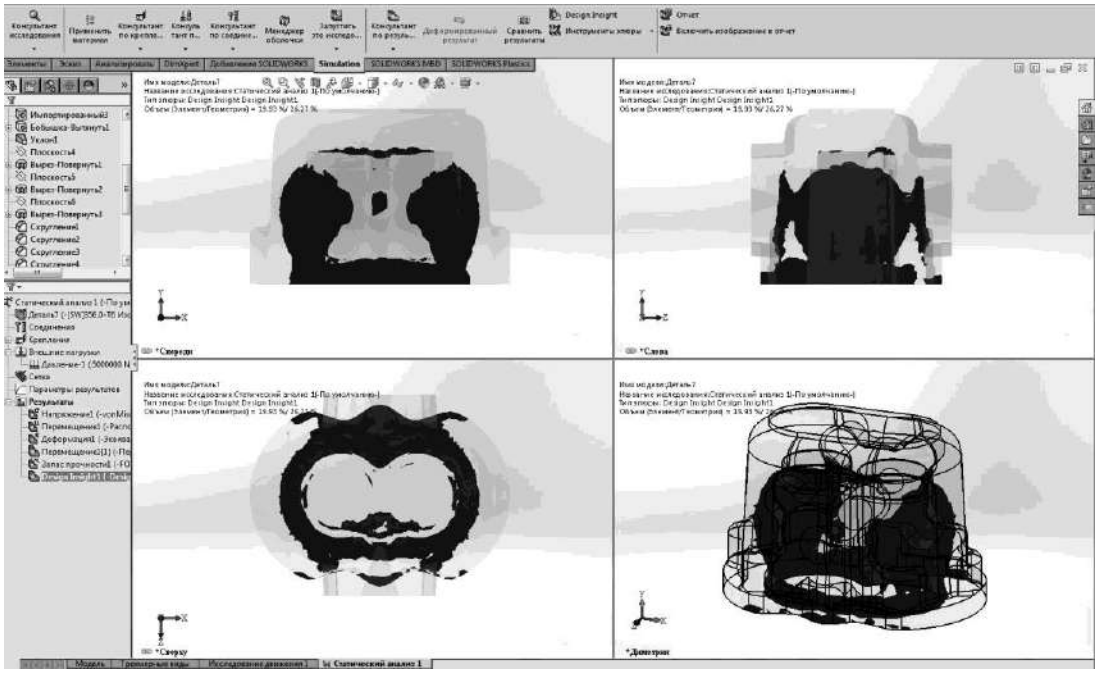


Рис. 1 – Розподіл навантаження в об'ємі виливка

Аналізуючи результати, помітимо, що виливок має максимальні навантаження в центральній частині навколо внутрішніх циліндричних поверхонь (темні області). Це означає, що саме ці області ззовні необхідно зміцнити ребрами жорсткості. Не зафарбовані області (згори і з боків) можна зробити тоншими, адже вони не сприймають навантаження, і тим самим заощадити метал.

Результати досліджень на міцність дозволили розробити нову конструкцію корпусу, яку вдалося зробити тоншою в найменш напружених місцях і зміцнити ребрами жорсткості в найбільш навантажених місцях. При цьому запас міцності виливка зріс від 5 до 5,4, а масу вдалось зменшити на 276 грам, або 13%.

Таким чином, проведення досліджень на міцність у середовищі Solidworks Simulation дозволяє виявити на стадії проектування (до виготовлення оснастки) недоліки в конструкції деталей, швидко й ефективно ввести зміни в конструкцію, з найменшими витратами часу, матеріальних і енергетичних ресурсів.

Список літератури

1. С. В. Конончук, В. В. Пукалов. Удосконалення технологічного процесу лиття в кокіль алюмінієвих сплавів // Матеріали XIV Міжнародної конференції «Литво-2018». 22 – 24 травня 2018 р. – Запоріжжя. – С. 119-120.

2. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

УДК 621.74

Косенко О.П., Пономаренко О.И., Корыткин Б.В., Евтушенко С.Д.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТЛИВОК

Сегодня в практике проектирования литых деталей применяется ряд специальных программных пакетов трехмерного проектирования, а для решения задач по моделированию процессов кристаллизации используется программа LVM

Flow. Учитывая, что выбор исходных параметров для компьютерного моделирования осуществляет непосредственно конструктор или технолог на основе личного опыта, бывает проблематичным заранее с большой степенью вероятности определить правильность выбранных технических решений. Вопросы, связанные с формализацией процессов локализации внутренних дефектов литейного происхождения, должны обязательно решаться на этапе компьютерного моделирования процесса кристаллизации литой детали. Поэтому получение качественных отливок на основе использования новых методов и программных продуктов Solid Works и LVM Flow является актуальной задачей литейного производства.

В качестве объекта исследования была выбрана нетехнологическая отливка для шахтного оборудования.

Одним из возможных путей решения задачи повышения качества таких отливок является применение математических и компьютерно-интегрированных проектирования. Использование CAD\CAE программ значительно сокращается время на разработку технологических процессов и изготовление оснастки.

Сначала нетехнологическая отливки «Направляющая» была представлена в 3D системе с помощью программ Solid Works LWM Flow. Отливка имеет вид перевернутого табурета с четырьмя ножками. В отливке имеется большое количество тонких и толстых стенок, которые чередуются между собой. В местах переходов были установлены галтели. Для ликвидации во внутренних углах отливки скопления газоусадковои пористости было предложено несколько увеличить толщину ножек.

Поскольку отливка имеет большую высоту, это требовало специальных составов формовочных и стержневых смесей, чтобы выдержать гидростатический напор заливаемого металла. Было предложено использовать песчано-смоляную смесь.

Для ликвидации горячих трещин в отливке при кристаллизации в местах сопряжения крышки и ножками было принято решение установить специальные стяжки между ножками. Такое технологическое решение устранило появление трещин в отливки.

Для ликвидации усадочных раковин в теле отливки были опробованы две экзотермические вставки моделей OBG7 и OBG7/300 (открытого типа) фирмы «Cukurova Kimya Industrisi», Для этого была использована программа LVMFlow.

Экзотермическая вставка модели OBG7/300 позволила не допустить образования усадки.в теле отливки, а также повысила эффективность работы питательных прибыли за счет экзотермической реакции при контакте расплава с элементом и газовым давлением в прибыли; снизила брак по дефектам усадочного характера; уменьшила металлоемкость прибыли (до 40%) и технологические припуски на механическую обработку прибыльных мест с 15 ... 20 мм до 4 ... 5 мм.

Это позволило сэкономить расход сплава за счет прогнозирования появления мест дислокации дефектов, уменьшить брак отливок, а также дало возможность проверки детали на различные виды прочностных нагрузок на ее виртуальной модели.

Вопрос об улучшении технико-экономических показателей получения износостойких сталей возник давно и остается актуален до сегодняшнего дня. Распространённым примером может служить – «сталь Гадфильда» (110Г13Л). Основное ее свойство заключается в способности к наклепу, благодаря которому детали, в процессе эксплуатации, получают высокую твердость и не обретают хрупкость. Наиболее часто ее применяют для дробящих установок, ковшей экскаватора на горнодобывающих предприятиях. Эти предприятия заинтересованы в получении деталей с максимальным ресурсом использования.

Целью работы является определение влияние легирующих добавок на стойкость зуба ковша карьерного экскаватора и получение оптимального химического состава стали для работы в заданных условиях.

Для проведения анализа и расчетов были выбраны легирующие добавки, способные повлиять на стойкость стали Гадфильда в условиях рудодобычи при работе на карьерных экскаваторах. В качестве основных легирующих элементов были выбраны молибден, ванадий, марганец, углерод и кремний.

В ходе исследований было определено влияние легирующих элементов на стойкость отливок в условиях работ с твердыми породами - соотношения углерода к марганцу и оптимальное количество кремния, влияние молибдена и ванадия на стойкость отливок, размера зерна и структуры металлической решетки. Проведены производственные испытания отливок.

По полученным данным построены: диаграммы, определен оптимальный химический состав стали Гадфильда, определены технико-экономические показатели модификаций стали.

УДК 669.715:543.226

М. В. Кошелев, А. Г. Пригунова

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

Тел./факс.: 0444241150, e-mail: adel_nayka@ukr.net

ДЕРИВАТОГРАФИЧЕЧКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТЛИВОК ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ РАСПЛАВА Al – 1.2 Fe – 8 Si ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Перспективным направлением усовершенствования литой структуры и эксплуатационных характеристик отливок из силуминов является обработка расплава импульсным электрическим током. В работе методом дериватографического термического анализа исследовано влияние обработки расплава однополярным импульсным электрическим током по специально разработанным режимам (отличаются периодичностью и плотностью тока, обозначены как I,$j\uparrow$ *u* II,$j\uparrow\uparrow$) на температуры и термодинамические характеристики фазовых превращений в сплаве Al - 1.2 Fe - 8 Si при его нагреве и охлаждении. Кривые ДТА снимали на приборе Derivatograph Q –1500–D (MOM Венгрия) при линейной скорости нагрева и охлаждения 5 К/мин в диапазоне температур 300-1000 К на воздухе, при навеске пробы 70 мг. Параметры фазовых превращений уточняли дифференцированием сигнала ДТА по изменению знака производной на зависимости $d(\Delta T)/d\tau = f(\tau)$. Объемную долю кристаллизующихся фаз определяли путем построения интегральных кривых изменения площади тепловых эффектов процесса кристаллизации, так называемые кривые «доля жидкости от температуры» или ДЖТ-кривые.

При нагреве исходного алюминиевого сплава (рис. 1 а, кривая 1) эндотермический процесс плавления начинается при температуре 572 ºС. Температурный интервал плавления тройной эвтектики 576 ºС – 597 ºС четче фиксируется на кривой ДДТА: начало при температуре 576 ºС, с максимумом процесса при температуре 583 ºС. Плавление фазы α-Al наблюдается в температурном интервале 598 ºС – 630 ºС, с максимумом при температуре 608ºС. При охлаждении расплава (рис.1 б, кривая 1) кристаллизация фазы α-Al

фиксируется при температуре 598 ºС, с максимумом процесса при температуре 593 ºС. При этом объемная доля жидкости (рис.1 в, кривая 1) снижается до 64 %. Рост концентрации атомов железа и кремния в расплаве создает условия для образования железосодержащих фаз. Небольшой пик на кривой ДТА при температуре 576 ºС можно отнести к кристаллизации фазы Al_5FeSi (β-фаза), которая предшествует кристаллизации тройной эвтектики. Это согласуется с псевдо-бинарной фазовой диаграммой состояния Al-Fe при содержании кремния 8 % масс.

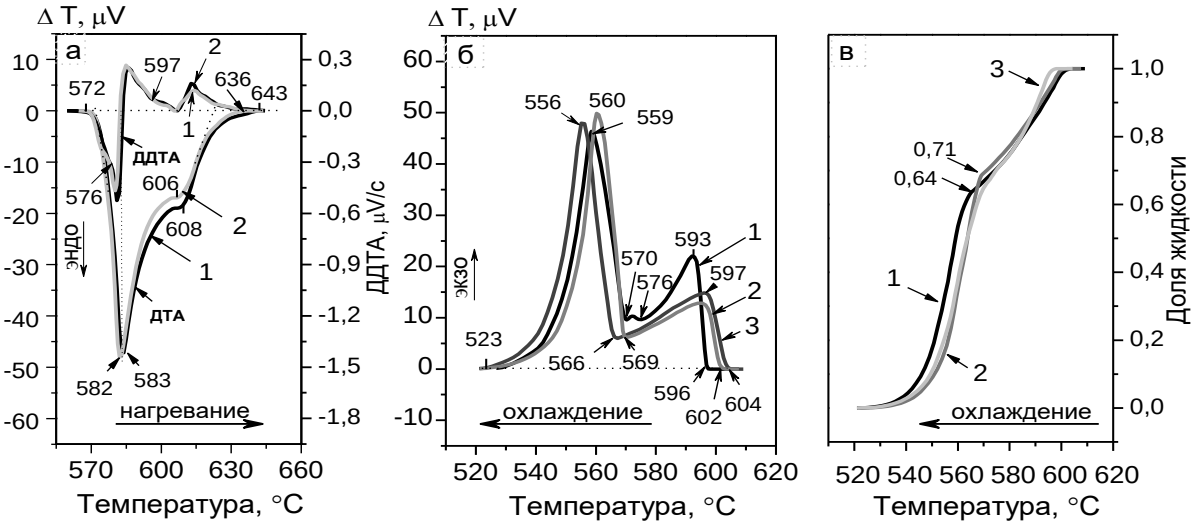


Рис.1 - Влияние модифицирующей обработки расплава на тепловые эффекты плавления (а) кристаллизации (б) и объемную долю кристаллизующихся фаз (в) алюминиевого сплава AL - 1.2 Fe - 8 Si

По сравнению с исходным, обработка расплава импульсным электрическим током по режиму I, *j*↑ (рис. 1 а, кривая 2) приводит к уменьшению на 4,96 % теплового эффекта плавления (площадь под кривой ДТА) и сокращению температурного интервала плавления. В то же время, исследования в режиме охлаждения (рис.1 б) показали, что воздействие на расплав импульсным электрическим током по режимам I, *j*↑ *и* II, *j*↑↑(кривые 2 и 3 соответственно) приводит к расширению температурного диапазона кристаллизации. Тепловые эффекты кристаллизации α-Al фазы уменьшаются, пропадает пик кристаллизации фазы Al_5FeSi (β) и наблюдается рост тепловых эффектов кристаллизации тройной эвтектики, ее объемной доли (рис.1в).

Учитывая простоту реализации обработки расплава однополярным импульсным электрическим током в условиях промышленного производства, отсутствие больших энергетических затрат и высокую производительность метода,

можно заключить, что такой способ управления фазовым составом, структурой и соответсвенно свойствами литейных сплавов имеет большой потенциал практического использования.

УДК 620.22

В. М. Кропівний, М. В. Босий, О. В. Кузик, А. В. Кропівна

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

ДЕЯКІ ЗАКОНОМІРНОСТІ МІЖФАЗНОГО РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Широке застосування високоміцних чавунів для деталей машин та механізмів обумовлено підвищеними міцнісними властивостями, які досягають за рахунок компактної форми графітних включень, легування та термічної обробки. Проте введення будь-якого легуючого елемента змінює термодинамічні умови кристалізації та формування фаз. При кристалізації і затвердіванні виникає хімічна неоднорідність сплаву – зональна та дендритна ліквація, особливо таких елементів, як вуглець, кремній та марганець [1, 2]. Складний комплекс фізико-хімічних процесів, які відбуваються при графітизації високоміцного чавуну, не дають дослідникам досягти єдиної точки зору щодо механізму формування включень кулястої та компактної форм графіту.

Кристалізація гілок дендритів аустеніту формується з концентрацією вуглецю нижчою за його вміст у розплаві і відтісняючи вуглець вони пересичують цим елементом міждендритні зони. В залежності від хімічного складу розплаву та характеру його модифікування на цих ділянках формуються графітні включення відповідної компактності. Мікрорентгеноспектральні дослідження свідчать, що для ділянок аустеніту, які затвердівали першими, характерним є підвищений вміст кремнію і формування при наступному евтектоїдному перетворенні зерен фериту [3].

Згідно методики розрахунку нерівномірності міжфазового розподілу кремнію та марганцю між аустенітом та рідиною [4], проведені розрахунки відповідних коефіцієнтів розподілу та одержана залежність взаємозв’язку коефіцієнта розподілу третього елемента між аустенітом і рідиною зі зміною температури аустенітно-графітної евтектики для двох потрійних систем Fe-C-Xi (Xi =Mn, Si).

Показано, що кремній з коефіцієнтом розподілу між аустенітом та рідиною концентрується в аустеніті, а коефіцієнт ліквації його в аустеніті становить , тому Si ліквує в центр дендриту. Марганець з коефіцієнтом розподілу між аустенітом та рідиною концентрується в рідині, при цьому коефіцієнт ліквації його в аустеніті становить і Mn ліквує на переферію дендрита.

Встановлено, що зміна енергії Гібса аустеніту і рідини для кремнію та марганцю дорівнює та відповідно. Аналіз поведінки термодинамічних характеристик фаз при наявності у сплаві Fe-C третього елемента показав, що незмінна температура рівноваги призводить до зменшення енергії Гібса аустеніту і рідини, враховуючи, що графіт не розчиняє домішок.

Такий характер зміни енергії Гібса обумовлює направлення перерозподілу елемента між рідиною і аустенітом: елементом насичується та фаза, енергія Гібса якої від домішки елемента зменшується сильніше, що призводить до зменшення енергії Гібса всієї системи. Слід зазначити, що більш відносна зміна енергії Гібса аустеніту і рідини призводить до більшої відмінності концентрації в них третього елемента, тобто збільшенню різниці $|kX - 1|$.

Таким чином, згідно термодинаміки рівноваги фаз кремній сильніше зменшує енергію Гібса аустеніту, а марганець – енергію Гібса рідини. Характер зміни енергії Гібса обумовлює направлення перерозподілу Si і Mn між рідиною і аустенітом, відповідно кремнієм або марганцем насичується та фаза, енергія Гібса якої від одного з даних елементів зменшується сильніше. Співвідношення між хімічними потенціалами вуглецю у фазах диктують зміну температури евтектичного перетворення, а саме, для елементів з $kX>1$ температура евтектичного перетворення повинна підвищуватися, а з $kX<1$ − знижуватися, така зміна температури обумовлює зміну склад фаз, що призведе до виконання умов рівноваги фаз при наявності третього елемента.

Список літератури

1. Воздвиженский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. / В. В. Воздвиженский, В. А. Грачов, В. В. Спасский // Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1984. – 432с.

2. Любченко А.П. Высокопрочные чугуны / А.П. Любченко. – М.: Металлургия, 1982. – 120 с.

3. Аулін В.В. Роль теплофізичних процесів формування структури високоміцних чавунів / В.В. Аулін, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, М.В. Босий, О.В. Кузик // Вісник інженерної академії України. – 2017. – №3. – С.133-137.

4. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. Серия «Успехи современного металловедения» / К. П. Бунин, Ю. Н. Таран – М.: Металлургия, 1972. – 160 с.

УДК 621.745: 669.296

Ладохин С.В.

e_luch@ptima.kiev.ua

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТАВЕННОГО ЦИРКОНИЯ В ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ УКРАИНЫ

В настоящее время в Украине функционируют 15 блоков АЭС, которые вырабатывают более половины электроэнергии и ядерное топливо для которых традиционно поставлялось из России. В последние годы наряду с топливом российской корпорации «ТВЭЛ» стало использоваться топливо американской компании Westinghouse. В прошлом году смешанные активные зоны с топливом указанных поставщиков эксплуатировались уже на шести энергоблоках украинских АЭС [1], и в ближайшие годы предусматривается расширение использования сборок компании Westinghouse вплоть до строительства завода этой компании по производству ядерного топлива [2]. Однако абсолютная зависимость работоспособности энергоблоков от внешних поставок топлива угрожает энергетической безопасности страны. Это обусловливает необходимость создания отечественного ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), что было предусмотрено соответствующим решением правительства еще в начале нулевых годов текущего столетия [3], но не реализовано до настоящего времени.

Неотъемлемой составной частью ЯТЦ является получение циркония ядерной чистоты и организация производства из него сплавов для изготовления защитных труб-оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), канальных и направляющих труб, кассет и других деталей активной зоны атомных реакторов. Работы по решению проблемы циркония для ЯТЦ выполнялись совместно ИФТТМТ ННЦ

«ХФТИ» НАН Украины, ГНПП «Цирконий», ГП «НИТИ им. Я.Е. Осады» и ФТИМС НАН Украины по заданию Минтопэнерго Украины. В основе проводимых исследований лежали предложения по использования отечественных технологий кальцийтермического восстановления циркония из тетрафторида циркония, рафинированию этого металла методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью и последующего получения литых трубных заготовок с использованием электронно-лучевой гарнисажной плавки. Результаты исследований представлены в отчетах о НИР и публикациях в научной печати, которые в обобщенном виде изложены в [4], а последние по времени предложения сформулированы в докладе на конференции, посвященной 60-летию создания ФТИМС НАН Украины [5]. Отметим также, что по результатам исследований защищены докторские и кандидатские диссертации [6-9].

В проведенных исследования получение трубных заготовок осуществлялось способами литья в кокиль, центробежного литья и литья с наложением электромагнитных полей на затвердевающий в форме расплав. Во всех этих способах исключается операция ковки слитка, что представляется наиболее перспективным для решения проблемы трубных заготовок из циркониевых сплавов и изделий из них в нашей стране. К настоящему времени практически удалось реализовать технологию получения литых трубных заготовок способом литья в кокиль из сплава Zr1Nb и изготовления из них трекс-труб и твельных трубок. Механические свойства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb представлены в таблице.

Завод-изготовитель	Продольное направление			Поперечное направление		
	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %
	Температура испытаний 293 К					
ОЗ ГП «НИТИ»	580-590	415-425	34-36	550-600	500-533	16,1-16,7
ОАО ЮТЗ*	615-650	480-495	30-33	605-650	560-595	13-13,3
ВДП	-	-	-	294	210	29
ТУ 95-105-89 не менее	410	240	20	-	-	12
	Температура испытаний 653 К					
ОЗ ГП «НИТИ»	-	-	-	226-235	222-226	27-30
ОАО ЮТЗ*	235-265	135-153	-	225-240	190-200	27-36

ВДП	-	-	-	225	195	47
ТУ 95-105-89 не менее	-	80	-	148	130	33

В целом результаты выполненных исследований позволяют утверждать о реальной возможности получения изделий из сплавов на основе циркония кальцийтермического восстановления в рамках создания отечественного ЯТЦ. Однако для комплексной оценки качества получаемых труб-оболочек ТВЭЛ необходимо продолжить исследования их коррозионной стойкости, малоциклической усталости, ползучести и радиационной стойкости в условиях эксплуатации в действующих реакторах.

Дальнейшие работы по циркониевой проблеме следует проводить в направлениях получения циркония кальцийтермического восстановления с более низким содержанием кислорода, отработки технологий выплавки на основе этого циркония сплавов типа Zr2.5Nb и системы Zr-Nb-Fe-Sn, а также сплавов типа Zircaloy с получением их них трубных заготовок и труб-оболочек ТВЭЛ.ё

Список литературы

1. Звіт про діяльність Національної академії наук України у 20017 році / НАН України. – Київ: Академперіодика, 2018. – 552 с.

2. https://ZN.UA/Economics/30387.html

3. Комплексна програма створення ядерно-паливного циклу в Україні. Постанова Кабінету Міністрів України № 267 від 12.04.2005 р.

4. Ладохин С. В., Вахрушева В.С. Применение электронно-лучевой плавки для получения сплавов циркония в Украине // Современная электрометаллургия. – 2018. - № 4.- С. 36-41.

5. Вахрушева В.С., Воеводин В.Н., Ладохин С.В., Мухачев А.П., Пилипенко Н.Н. Получение труб-оболочек тепловыделяющих элементов атомных реакторов из литых заготовок сплава Zr1Nb электронно-лучевой выплавки // Металл и литье Украины. – 2018. - № 7-8.- С. 101-111.

6. Вахрушева В.С. Формування структури та властивостей сталі і сплавів при виготовленні труб для ядерних енергетичних установок: Автореф. дис. … д-ра техн. наук. – Дніпропетровськ, 2003. – 36 с.

7. Буряк Т.М. Структуроутворення і формування властивостей трубной заготовки і труб для атомної енергетики з використанням нових способів виробництва. Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Дніпропетровськ, 2005. – 20 с.

8. Гладков А. С. Особливості електронно-променевої гарнісажної плавки сплаву Zr-1Nb і розробка технології виготовлення трубних заготовок: Автореф. дис. … канд. техн. наук. – Київ, 2009. – 20 с.

9. Пилипенко М.М. Фізико-технологічні основи створення цирконієвих матеріалів та гафнію для активних зон ядерно-енергетичних установок. Автореф. дис. …д-ра техн. наук. – Харків, 2012. – 32 с.

УДК 629.11.012.3 : 669.14.083.74

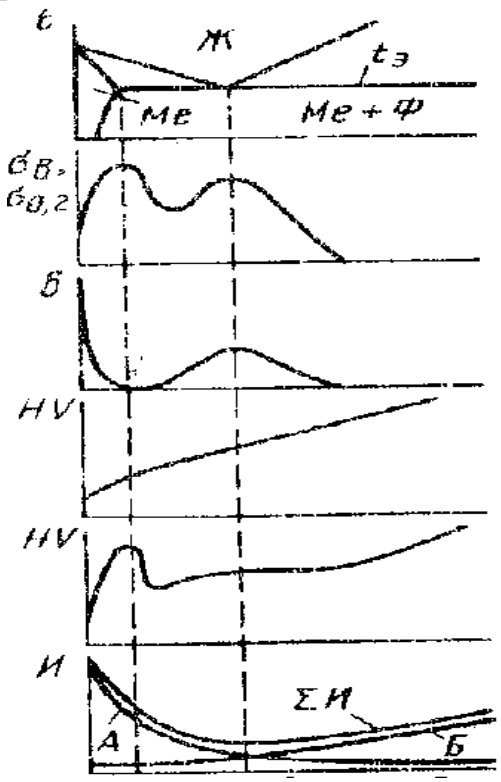
В. А. Локтионов-Ремизовский, Н. В. Кирьякова, Н. Н. Грибов, В.Ф.Смолянская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

loktionov@ptima.kiev.ua

ИЗНАШИВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ

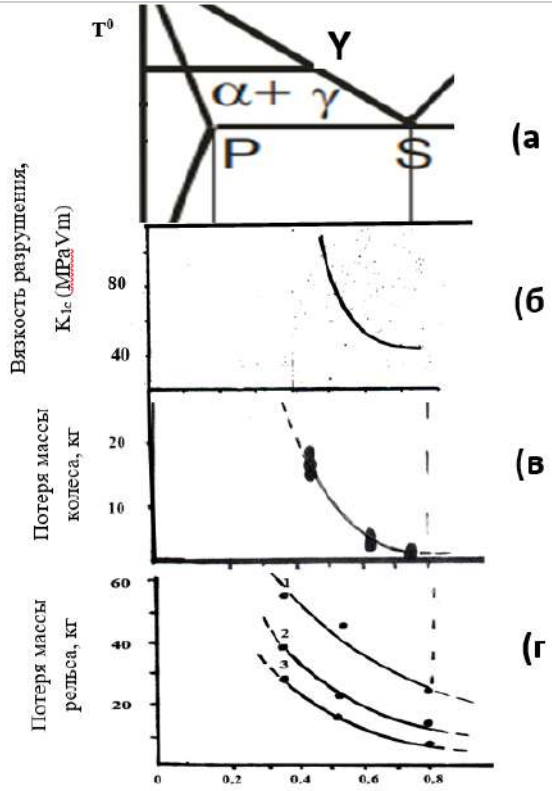
В металловедении существует фундаментальный закон связывающий свойства сплавов с их составом и структурным состоянием – закон Курнакова. Одним из базовых положений закона Курнакова является отсутствие разрыва функции в пределах одной фазовой области диаграммы состояния. В работах специалистов Украины были показаны особенности действия закона Курнакова при формировании функций концентрационных зависимостей износостойкости и коэффициента трения сплавов эвтектических систем металл - фаза внедрения. В работе А.А. Жукова с коллегами проведено обобщение ряда публикаций и представлены общие схемы функций концентрационных зависимостей механических свойств и износа сплавов эвтектических систем металл-фаза внедрения (Рис. 1). Из приведенных материалов следует, что критическим точкам диаграммы состояния соответствуют экстремумы и перегибы. Основой множества процессов, вследствие энергетического, механического, коррозионного, термического, разрушения железнодорожного транспорта является взаимодействие колеса и рельса. При эксплуатации колеса и рельса формируют пары трения



Fe Содержание фазы внедрения

А–износ образца; Б –износ контртела.

Рис. 1. Зависимость механических свойств и износа



Содержание углерода, % по массе

Рис.2. Зависимость вязкости разрушения и износа сталей от содержания углерода

. На рис. 2 представлено сопоставление функций концентрационных зависимостей усредненных значений вязкости разрушения (ударной вязкости) среднеуглеродистых сталей и величины износа колес и рельсов из таких сталей с диаграммой состояния железо - углерод в стальной области концентраций углерода. Результаты стендовых испытаний показали, что повышение содержания углерода в рельсовой стали не оказывает влияния на повышение износа колес, а повышение углерода в колесной стали повышает износ рельсов, при фиксированном углероде в рельсовой стали. На прямолинейных участках полотна доля износа при трении качении пары колесо-рельс в суммарном износе пары доминирует.

На криволинейных участках полотна суммарный износ пары колесо-рельс существенно дополняется износом трения скольжения. Изменение соотношения долей износа при трении качении и износа при трении скольжении, в процессе работы пары железнодорожные колесо-рельс, обуславливает изменение уровня износа элементов пары.

Вид функций вязкости разрушения и изнашивания колес и рельсов одинаков и функции характеризуются наличием нисходящей ветви, перегибом в обдасти концентрации углерода, соответствующей составу эвтектоида, и выходом на горизонталь при содержании углерода более 0,8% по массе.

Фактически рис. 2 является диаграммой состав – структура – свойства и позволяет связать состав рельсовых и колесных сталей по углероду, их структурное состояние, механические свойства (ударную вязкость) и величину износа элементов пары трения колесо – рельс, что подтверждает фундаментальность закона Курнакова, позволяет прогнозировать уровень свойств и характеристик сплавов.

УДК 621.74

Т.В. Лисенко, М.І. Замятін, В.П. Доценко, М.П. Тур, О.Ю. Морозов

Одеський національний політехнічний університет, Одеса

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В ОБЛИЦЬОВАНІ КОКІЛІ

Особливості технології лиття в облицьовані кокілі пов'язані, перш за все, з необхідністю нанесення на кокіль облицювання для отримання кожної чергової виливки. Як матеріал для облицювального шару використовують формувальні суміші підвищеної плинності. Цей метод лиття дозволяє одержувати виливки з чорних і кольорових сплавів. Однак при литті низькотемпературних сплавів на основі цинку і олова, даний метод лиття не дозволяє отримувати художні виливки з високою чистотою поверхні.

Для усунення цих недоліків запропоновано в якості облицювання використання силіконової гуми SK 766. Отриману форму можна експлуатувати протягом 500-550 заливок, при температурі до 400 °С, лінійна усадка складає 0,2%.

Розроблено технологію отримання такого облицювання. Даний метод лиття дає можливість багаторазово використовувати облицювання кокилю, що спрощує технологію виготовлення виливків, а також можна одержувати виливки, в яких є зворотні ухили стінок та піднутрень.

Для визначення параметрів технологічного процесу виготовлення виливків зі сплаву ЦАМ4-1в використовували програмний комплекс LVMFlow (демо-версія). В якості об`єкту моделювання було вибрано виливок «ланка ланцюга».

При виконанні моделювання враховували склад сплаву, матеріал форми, температуру форми, температуру навколишнього середовища, спосіб заливки. Параметри технології вказані в таблице 1. Необхідно було визначити розрахунковий час твердіння виливка та проаналізувати поверхневі та усадкові дефекти.

При відпрацюванні технології плавка проводилася в індукційній печі ARGENTA APT 1,7. Температура металу на випуску контролювалася термопарою занурення. Заливка здійснювалась під низьким тиском. Відпрацювання технологічного процесу почалася з отримання на кокілі якісної поверхні облицьованого шару.

Таблиця 1

Параметри технології

Властивості	Параметри
Сплав	ЦАМ4-1в
Матеріал форми	Чавун
Температура металу	380°С
Температура форми	95°С
Температура навколишнього середовища	27°С
Спосіб заливки	Лиття під низьким тиском

3D-геометрія виливки у формі наведена на рис.1.

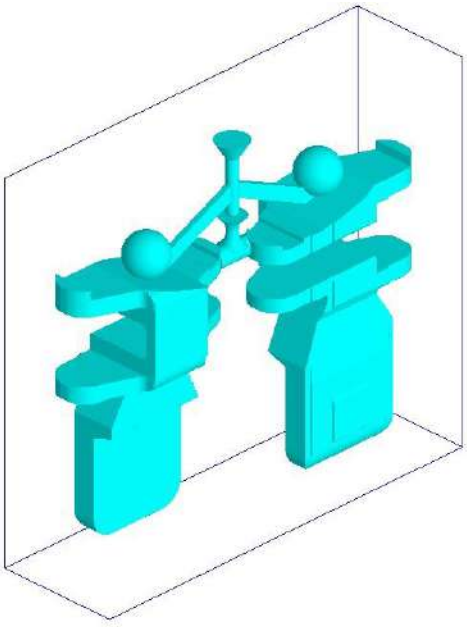


Рис. 1. - 3D-геометрія виливки у формі

По результатам моделювання було проведено серію заливок. Отримані дані

свідчать про високу якість виливок по поверхневим та усадковим дефектам. Дана технологія може успішно використовуватись при виготовленні виливків із низькотемпературних сплавів.

УДК 621.744.3

Т.В. Лысенко, А.А.Бондарь, К.А. Крейцер, Е.Н. Козишкурт, А.Л.Морозов

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА БЕСФЛЮСОВОЙ ЗАЩИТЫ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ ВОЗГОРАНИЯ

Была создана новая импульсная система защиты магниевых сплавов от возгорания. Система позволила подавать на поверхность металла смесь защитных газов импульсно, не допуская возгорания магниевого сплава [1].

Использование постоянной подачи смеси защитного газа на поверхность жидкого сплаваприводит к постоянному росту толщины слоя защитной пленки. Увеличение перепада температуры на границах пленки создает нарастающие напряжения в пленке, приводящие к ее разрушению. Появляются трещины, через которые проходят наружу пары магния, а в жидкий сплав попадает кислород. Именно такое состояние служит основной причиной возгорания. При этом, теряются защитные свойства пленки из-за нарушения ее герметичности. Одновременно с этим, из-за непрерывного процесса диффузии защитного газа и магниевого сплава, масса пленки увеличивается и часть пленки тонет. Далее процесс повторяется. К косвенным недостаткам такого процесса следует отнести большое потребление активных газов, потери сплава, снижение качества магниевого сплава, засорение неметаллическими включениями и как следствие, снижение качества литья [2].

Формулы (1) и (2) выражают зависимость времени существования защитной пленки (до возгорания) от поверхностного натяжения и температуры сплава, а также состава защитных газов:

$$\hat{y} = 1277{,}7 - 2{,}18T + \sigma + 133{,}3x_3 + 3652{,}33x_4, \quad (1)$$

$$\hat{y} = -2098.14 + 3.41T + 0.95\sigma - 700{,}08x_3 \quad (2)$$

Рабочий диапазон жидкого сплава находится в пределах 650 – 760 ℃ . До 350 ℃ плавка производится с использованием только сухого воздуха, содержание O_2 – 4%. Рафинирование сплава производится при температурах 665 – 685 ℃ .

Для описания импульсной системы были приняты следующие условные обозначения:

Y – отклик (выходной параметр техпроцесса –время существования защитной пленки (до возгорания);

ΔY – отклонение от оптимального значения из-за отклонения факторов;

X_i – входные параметра техпроцесса:

X_1 – температура сплава(T);

X_2 – поверхностное натяжение сплава(σ)

X_3 – %содержание SO_2;

X_4 – %содержание SF_6;

$X_i \in [\alpha_i; \beta_i]$ – область определения функции;

X_{i0} – параметры, обеспечивающие оптимальные значения функции математической модели техпроцесса.

Использование на комплексе литья под давлением инерционных параметров температуры сплава X_1 и поверхностного натяжения X_2 помогает определить момент возгорания. Для компенсации этих колебаний в процессе изменяется количество подаваемых газов X_3 и X_4. Исходя из этого, системой создаются значения для регулирования $X_{3.i}$ и $X_{4.i}$, с соответствующей областью определения. Адаптивная система управления позволяет оптимизировать технологические параметры процесса.

Список литературы

1. *Дуюнова, В.*А. Исследование воспламеняемости литейных магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr / В.А. Дуюнова, З.П. Уридия//Литейщик России. - 2012. - №11. -С. 21–23.

2. *Антипов, В.В.* Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов / В.В. Антипов //Авиационные материалы и технологии. - 2012. - №S. - С. 157–167.

УДК 621.744.3

Т.В. Лысенко, К.А. Крейцер, В.В. Ясюков, Е.Н. Козишкурт, А.Л.Морозов

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМИРОВАНИЯ ФОРМЫ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

С целью снижения загазованности в отливках при литье под давлением предусматривается вакуумирование формы.

Активные газы, такие, как водород, азот поступают в отливку, смешиваясь при заполнении формы турбулентным и дисперсным потоками. Использование вакуумирования формы, как это делается при литье алюминиевых сплавов, не представляется возможным, так как магний испаряется[1,2].

Для снижения загазованности в отливке, нами предложено технологическое решение по использованию вакуумирования формы в режиме исключения выхода из формы паров магния. Технологический процесс предусматривает использование лабиринтного отсос воздуха из формы. Были проведены исследования по определению минимального по высоте сечения лабиринта отсоса, количества волн лабиринта и их ширину. Рассчитана достаточная температура лабиринта по контуру охлаждения. Исследованы потери сплава при запрессовке.

Пресс - форма была оборудована лабиринтовым каналом для вакуумирования формы в момент начала запрессовки. Правильность принятия подобного решения подтверждена экспериментально. Лабиринтный канал имел низкую температуру, воздух из формы удалялся, испарения магния не наблюдалось.

Были проведены работы по проверке эффективности системы вакуумирования, а также была осуществлена проверка системы герметичности плоскости разъема формы.

Преимущества литья под давлением с использованием вакуумирования формы достаточно известны:

- снижение газовой пористости и, как следствие, повышение герметичности и механической прочности отливок;
- улучшение условий заполнения формы (жидкотекучести) и, как следствие, возможность снижения температур сплава и формы, что приводит к уменьшению турбулентности, гидравлического удара и температурных нагрузок на форму;

- резкое снижение засорения отливки за счет отсоса избыточной составляющей технологических защитных смазок — исключение на поверхности отливок следов, пятен и спаев;
- исключаются промывники, что дает экономию сплава.

Вакуумирование формы в целом, кроме указанных выше преимуществ, позволяет использовать такие технологические процессы как термообработку, герметичную сварку и качественные гальванические покрытия. Схема представлена на рис.1.

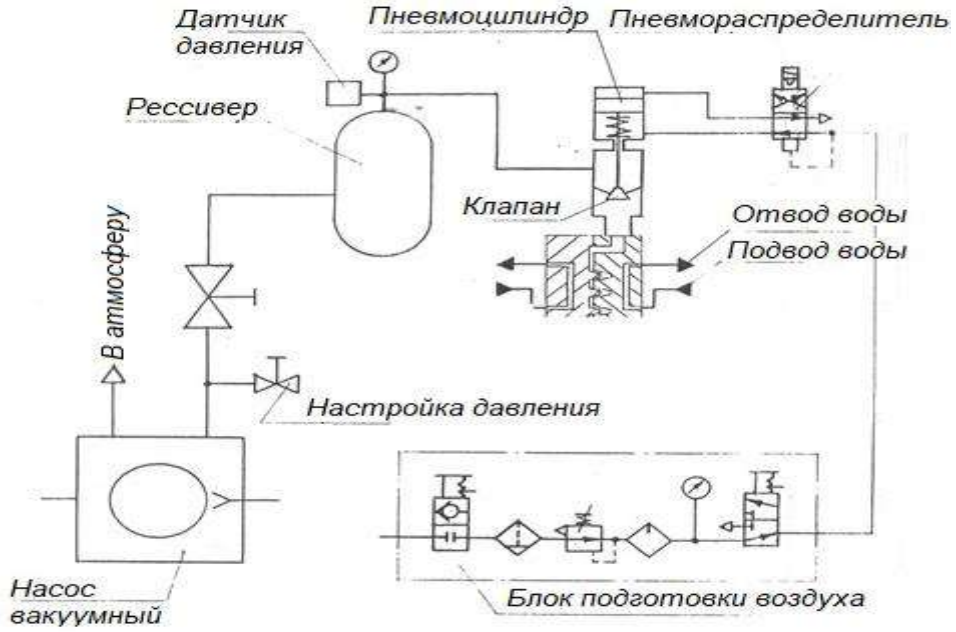


Рис. 1 - Схема вакуумирования пресс – формы и раздаточной печи.

Список литературы

1. *Каинов, В.М.* Перспективы производства отливок из алюминиевых и магниевых сплавов / В.М. Каинов // Приложение к журналу «Авиационная промышленность». -1989. -56. -№ 1-С.2-4.

2. *A. Kielbus*, "Microstructure of AE44 magnesium alloy befor eand after hot-chamber die casting," Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 20(1-2), (2007),459-462.

УДК 621.742.4

Т.В. Лысенко, И.В. Прокопович, В.В. Ясюков, Л.И. Солоненко

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОФАЗНОГО СПЕКАНИЯ СОЛЕКЕРАМИКИ

Развитие конструкторских разработок, направленных на создание компактных узлов и агрегатов с высокой удельной мощностью, в значительной степени связано с усложнением конструкции деталей, имеющих внутренние полости, требующие высокой чистоты поверхности. Такие полости характеризуются отношением минимального проходного сечения к длине не менее 1:50, к толщине стенки отливки 1:1; абсолютные размеры в поперечном сечении 0,6-3 мм. Характерные представители таких отливок – закрытые лопастные колеса с радиально расположенными лопастями, охлаждаемые поршни двигателей внутреннего сгорания, волноводные элементы СВЧ-радиоприборов, охлаждаемые лопатки турбин нестационарных установок и др. Для формирования таких полостей необходимы стержни, стабильные по геометрической точности (качество поверхности, размерная точность, пространственные отклонения, точность конфигурации), имеющие высокую механическую прочность. На финишной стадии такие стержни должны частично разупрочняться или полностью растворяться в неагрессивных средах при удалении из отливок. Это особенно важно для отливок из алюминиевых сплавов, поскольку эти сплавы подвергать выщелачиванию нельзя.

Решение этой задачи стало возможным при использовании стержней, названных солекерамическими [1]. В качестве огнеупорного материала, обеспечивающего комплекс свойств, необходимых для получения качественных отливок из алюминиевых сплавов, использовали хлористый натрий промышленной чистоты. Солекерамика отличается от керамики на основе оксидов механизмом стабилизации суспензии, являющейся основой стержней-сырцов, подвергающихся последующему твердофазному спеканию в засыпке адсорбента. Седиментационная устойчивость суспензии достигается введением поверхностно-активных веществ типа жирных кислот. При этом жирная кислота (например, стеарин) взаимодействует своей полярной группой по реакции:

$$C_{17}H_{35}COOH+NaCl \rightarrow C_{17}H_{35}COONa+HCl\ . \qquad (1)$$

Пластификатором суспензии является парафин, объединяемый с углеводородным радикалом $C_{17}H_{35}$. Справедливость этого представления подтверждается рентгеноструктурным анализом суспензии, который показывает изменение постоянной решетки ∆а в дебаеграммах за счет образования соединения $C_{17}H_{35}COONa$. При использовании в качестве стабилизатора полиэтилена образования химических соединений не происходит. Оксидная керамика стабилизируется полиэтиленом, который, растворяясь в парафине, увеличивает его вязкость и препятствует расслаиваемости суспензии [2]. Наличие химических связей органики с солью положительно влияет на технологические свойства суспензии и качества стержней в целом: возрастает текучесть суспензии и заполняемость пресс-форм; снижается расслаиваемость; стабилизируется огневая усадка стержней, что способствует повышению геометрической точности.

Температура спекания солекерамических стержней равна 720-730 °С (0,8-0,9 $T_{пл}$ соли). Близость температуры спекания и плавления обуславливает интенсивное развитие диффузионных процессов, проходящих с изменением формы и размеров изделия. В процессе спекания кристаллическая структура NaCl претерпевает изменения, вызванные рекристаллизацией. Первичная рекристаллизация заканчивается после соприкосновения растущих зерен. При этом зерна новой поликристаллической массы начинают «поглощать» друг друга, что сопровождается уменьшением общей поверхности и их поверхностной энергии. Укрупнение зерновой структуры представляет собой вторичную рекристаллизацию. Если некоторая часть зерен беспрепятственно растет за счет «соседей», то возникает явление, называемое прерывистой вторичной рекристаллизацией или чрезмерным ростом зерен. Этому способствует наличие в объеме спекаемого материала легкоплавких примесей эвтектического характера, располагающихся на границах зерен, например «намольного» железа. Это явление влечет за собой увеличение огневой усадки стержней. Снижение и стабилизация усадки достигаются вводом в состав α-Al_2O_3 с размером зерна до 10 мкм. Механизм воздействия стабилизатора заключается в том, что присутствие частиц другой фазы препятствует росту зерен, так как при движении межфазной границы поверхность частицы становится ее частью. Увеличение поверхности границы требует дополнительной энергии. Поэтому, когда при движении граница оказывается рядом с включением, оно образует в ней «ямочки», причем поверхность продолжает движение в другом месте до тех пор, пока не появится возможность обойти эту примесь.

Проведенные исследования позволили разработать технологию получения солекерамических стержней для тонкополостных отливок из алюминиевых сплавов – лопастных колес, клапанных илит для холодильных агрегатов, волноводных элементов СВЧ-радиоприборов. Удаление стержней из полостей отливок осуществляли в проточной воде при комнатной температуре за 5-17 мин. Шероховатость поверхности полостей соответствовала 5-6 классам ГОСТ 2789-95, размерная точность находилась в пределах 10-11 квалитетов.

Солекерамические стержни перспективны для применения в тонкополостных отливках из сталей и сплавов специального назначения. Сущность этого технологического прцесса состоит в том, что на солекерамический стрежень напылением или осаждением в вакууме наносится тонкая оболочка (0,1-0,5 мм), состоящая из смеси порошков, близких по своему химическому составу матричному металлу [3]. Стержни с такой теплофизической защитой устанавливаются в полость формы и заливаются сплавом при 1520-1580 °С. Соединение металлической оболочки с отливкой происходит диффузионным путем. Получение качественных отливок подтверждено расчетом температурных полей на ЭВМ, а также экспериментальным путем.

Список литература

1. А.с. 624694 СССР, МК В 22 С 1/08. Смесь для изготовления водорастворимого стержня / Л.А. Иванова, Ф.Д.Оболенцев, В.И. Саитов, Ясюков В.В. (СССР). 2163615/22-02; заявлено 06.08.1975; опубл. 25.09.78, Бюл. 35. – С. 2.

2. Кингери У.Д. Введение в керамику / У.Д. Кингери. – М.: Стройиздат, 1984. – 395 с.

3. Ясюков В.В. Композиционные отливки с регулируемым поверхностным слоем / В.В. Ясюков, Т.В. Лысенко, К.В. Волянская // Металл и литье Украины. – 2016. – № 4. – С.36-40.

УДК 621.742

Р.В. Лютий, М.В. Скирденко, Д.В. Люта

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

НАУКОВІ ОСНОВИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

У ливарному виробництві відомо понад 100 різних зв'язувальних компонентів (ЗК) для приготування формувальних і стрижневих сумішей. Для їх загальної класифікації і порівняння найбільше визнання дістала система професора А.М. Лясса.

Основою для цієї класифікації є природа ЗК, їх характер твердіння та питома міцність [1]. Кількість розроблених і впроваджених у виробництво ЗК з часом збільшується, а наукові основи класифікації десятки років залишаються незмінними.

Для успішної реалізації у ливарних цехах процесів виготовлення форм і стрижнів, особливо якщо мова йде про впровадження нових матеріалів, необхідно чітко усвідомлювати сутність фізико-хімічних процесів, які відбуваються під час зміцнення суміші. Це дає змогу для встановлення ефективних методів впливу на дані процеси з метою керування властивостями форм, а через них і підвищення якості литва.

Спроби класифікувати нові ЗК, які розроблено у КПІ ім. І. Сікорського, за традиційними ознаками показали, що класифікація А. М. Лясса на сьогодні є недосконалою і потребує уточнень.

По-перше, незрозумілим є термін «проміжний характер твердіння». Тобто при одних умовах ЗК зміцнюється оборотно (можливим є його повторне використання), а в інших випадках – ні. Це протирічить природі матеріалів: їхній характер твердіння чітко виражений, і «проміжного» бути не може. Цей термін виник через необхідність розподілити матеріали за питомою міцністю. Вважається, що ті матеріали, які зміцнюються необоротно, мають найвищу питому міцність, а ті, що мають оборотний характер твердіння – найнижчу. Тоді матеріали з проміжним твердінням займають середнє положення. Але сам термін є невдалим з фізичної та хімічної точки зору, тому його слід вилучити із системи класифікації.

По-друге, деякі ЗК помилково розташовані у класифікаційній таблиці не на своїх місцях. Наприклад, цемент віднесено до оборотного характеру зміцнення. Але

тільки тому, що його питома міцність мінімальна. Відомо, що насправді він твердне необоротно. Фосфати віднесено до необоротних ЗК, але якщо згадати, наприклад, триполіфосфат натрію, то він може бути використаний повторно. Алюмінат натрію також має оборотний характер твердіння [2], а його питома міцність (при 1% у суміші) дуже низька, що підтверджено нами експериментально.

Системний аналіз та ряд експериментальних досліджень дали змогу удосконалити і видозмінити систему класифікації ЗК для ливарного виробництва. ЇЇ зображено у табл. 1, жирним шрифтом у ній виділено матеріали, розроблені в КПІ ім. І. Сікорського протягом 2010 – 2018 рр.

Таблиця 1 – Удосконалена та доповнена класифікація зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва

Характер твердіння	Питома міцність, МПа	Клас А (органічні неводні)	Клас Б (органічні водні)	Клас В (неорганічні)
Необоротне	висока >0,5	- синтетичні смоли неводні - рослинні масла	- синтетичні смоли водні - етилсилікат	- рідке скло - металофосфати **- пірофосфат Si[1]** **- фосфат Al[2]**
	середня 0,3...0,5	- нафтові масла - сланцеві масла - полівінил-бутираль	- полівінил-ацетат	- металофосфати
	низька <0,3	- полістирол	–	- цементи - гіпс
Оборотне	висока >0,5	–	–	- солеві та солекерамічні ЗК **- пірофосфат Na[3]** **- карбонат Na + H_3PO_4** **- фосфат K[4]** **- фосфосульфат Al[5]**
	середня 0,3...0,5	–	- комплексні на базі ЛСТ - полісахариди	- сульфати Al і Mg - оксинітрати Al, Ca, Cr
	низька <0,3	- пеки - органофільний бентоніт - бітуми	- ЛСТ	- глина каолінова - глина бентонітова - глина полімінеральна - алюмінати

Примітки:

1. Пірофосфат кремнію утворюється внаслідок нагрівання композиції із ортофосфорної кислоти і пилоподібного кварцу до 300…320 °С [3, 4].

2. Фосфати алюмінію утворюються внаслідок нагрівання композиції нітрату алюмінію з ортофосфорною кислотою до 250 °С, нагрівання композицій пилоподібних алюмосилікатів (наприклад, дистен-силіманіту) з ортофосфорною кислотою до 300 °С або при змішуванні алюмінієвої пудри з ортофосфорною кислотою при нормальній температурі [3, 5, 6, 7].

3. Пірофосфат натрію синтезується при нагріванні композиції триполіфосфату натрію з ортофосфорною кислотою до 150…200 °С (нині проходить стадію патентування).

4. Фосфат калію синтезується внаслідок нагрівання композиції хлориду або броміду калію з ортофосфорною кислотою до 250 °С [8].

5. Фосфосульфат алюмінію утворюється при нагріванні композиції кристалогідратної форми сульфату алюмінію з ортофосфорною кислотою до 200 °С (нині проходить стадію патентування).

Список літератури

1. Формовочные материалы и смеси / *[Дорошенко С.П, Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И.].* – К.: Выща школа, 1990; Прага: СНТЛ, 1990. – 415 с.

2. *Сычев М.М.* Неорганические клеи / М.М. Сычев М.М. – Л.: Химия, 1974. – 160 с.

3. *Кеуш Д.В.* Закономерности образования связующих из ортофосфорной кислоты и огнеупорных наполнителей / *Д.В. Кеуш* // Процессы литья. – 2015. – №4(112). – С. 40–46.

4. *Лютый Р.В.* Формовочные и стержневые смеси с фосфатными связующими и комбинированным наполнителем, отверждаемые при нагреве / *Р.В. Лютый Р.В., А.С. Кочешков, Д.В. Кеуш* // Вестник ДГМА. – 2011. – №1 (22). – С. 203–206.

5. *Лютый Р.В.* Алюмофосфатные формовочные смеси / *Р.В. Лютый, А.С. Кочешков, Д.В. Кеуш, К.Ю. Думчева* // Вестник ДГМА. – 2011. – №4 (25). – С. 104–110.

6. *Лютий Р.В.* Визначення оптимального складу стрижневих сумішей з новими зв'язувальними компонентами, які утворюються при взаємодії ортофосфорної кислоти з неорганічними солями алюмінію / *Р.В. Лютий, І.М. Гурія, Д.В. Кеуш, О.А. Анісімова* // Вісник ДДМА. – 2013. – №2 (12Е). – С. 17– 24.

7. Пат. 110450 Україна, МПК В 22 С. Холоднотвердна суміш для виготовлення ливарних форм і стрижнів / *Р.В. Лютий, Д.В. Кеуш, К.Ю. Думчева, О.А. Анісімова* (Україна). – 2015 р., опубл. 25.12.15, Бюл. №24.

8. Нові суміші з фосфорними солями калію для виготовлення ливарних стрижнів у гарячому оснащенні / *Р.В. Лютий, Д.В. Кеуш, О.А. Анісімова та ін.* // Вісник ДДМА. – 2014. – №1 (32). – С. 99–104.

УДК 669.182.4.621.747.53

І. І. Максюта, Ю. Г. Квасницька, О. В. Михнян, О. В. Нейма

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

Тел.: (044)4243550, e-mail: mixnyan@ukr.net

ВИГОТОВЛЕННЯ ПІНОКЕРАМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ З МОДИФІКОВАНОЇ КЕРАМІКИ

Важливим резервом підвищення якості лиття є фільтраційне рафінування розплавів, при якому вони пропускаються через шар вогнетривкої кераміки з розвиненою поверхнею для очищення їх від неметалевих включень (НВ) та газів.Так як після фільтрації метал повинен мати температуру вище ліквідус, то при рафінуванні розплаву фільтром можуть затримуватися тільки первинні і вторинні НВ. З цього випливає, що при фільтруванні сплав може бути очищений, перш за все, від оксидних, нітридних та карбідних включень. Таким чином, пінокерамічні фільтри дозволяють суттєво підвищити якість очищення розплавів та знизити брак виливків.

Автори роботи при виборі матеріалу для фільтруючого вузла керувалися факторами, що визначають його механічні характеристики, пропускну здатність, вартість виготовлення, термостійкість.

Дослідження, які протягом багатьох років здійснюються у ФТІМС НАН України (відділ фізико-хімії ливарних процесів, д.т.н.,проф. Шинський О.Й.), з розробки технологічних засад отримання складно профільних виливків з жароміцних сплавів на основі заліза, нікелю, кобальту, зосереджені як на вдосконаленні процесів формоутворення, також на виготовленні ливарної оснастки для заливання сплавів, в даному випадку в багатошарові керамічні оболонкові форми. Тому розробка нового покоління більш хімічно- та термічностійких вогнетривів з моно- та комплексним

модифікуванням дисперсними порошками металів з метою утворення більш стійких сполук, дало змогу значно покращити експлуатаційні властивості форм, тиглів, стержнів та фільтраційних вузлів.

Недоліком раніш використовуваних пінокерамічних фільтрів, що містять глинозем, бентоніт, каолін, карбоксиметилцелюлози, алюмохромфосфатні зв'язуючі, є те, що при їх виготовленні спостерігається різнотовщинність стінок пористого каркасу фільтрів, появлення каверн.

Метою запропонованої у ФТІМС НАН України розробки було підвищення міцності пінокерамічних фільтрів нового складу та їх хімічної стійкості в умовах впливу високотемпературного розплаву, який містить, у випадку розглянутих жароміцних сплавів (ЧС88 і ЧС104-ВІ), такі активні елементи, як алюміній, хром, титан. В якості матеріалу фільтрів був використаний корундовий наповнювач, модифікований дисперсним металевим порошком. Пористі керамічні фільтри виготовляли шляхом нанесення керамічної пульпи /шлікеру/ на органічну пінну основу, що має повністю сітчасту структуру. Сушку та випалення проводили при температурах не менш температури експлуатації фільтрів, тобто в даному випадку при температурі більш ніж 1550 °С.

Посилаючись на результати попередніх досліджень, максимальну ефективність фільтрації досягали, регулюючи товщину та площу фільтра при постійній питомій поверхні фільтру і масі сплаву. Для експерименту використовували фільтри різної товщини (20, 30, 40 мм) та з різним діаметром пор (від 1 до 5 мм). Було встановлено, що при товщині фільтру 40 мм на поверхні пор після використання фільтру спостерігається мікропрошарок НВ, що призводить до заростання каналів в процесі заливання. При товщині 20…30 мм та діаметрах пор від 1 до 5 мм розплав досить вільно проходить через фільтр. Логічним є підтвердження, що зі збільшенням товщини фільтру може поступово зростати в'язкість розплаву, що протікає, причиною чого є падіння температури металу та, як наслідок цього, знижується швидкість фільтрації. Дослідження показують, що найбільш суттєвим чинником, який впливає на швидкість протікання розплаву, є розмір пор фільтра. Так, при проходженні металу через фільтр з діаметром пор 2 мм спостерігали за різким падінням швидкості, тому цей розмір пор слід вважати критичним, оптимальним діаметром пор слід вважати 3 – 5 мм. При таких параметрах спостерігається мінімальна кількість НВ та газів у дослідних литих зразках. Так как значний перегрів

металу недоцільний, то вирішальну роль грає температура підігріву фільтра, в даному випадку, оптимальною є температура підігріву фільтра до 950 – 1000 °С.

Виготовлений із розробленої суміші фільтруючий вузол дозволив зменшити в дослідних литих зразках вміст НВ з 7 – 9, % об'єм. (без фільтрації) до 4 – 5, % об'єм. з застосуванням фільтрів, як у поверхневому шарі виливка, так і в середині.

УДК 669-154:539.55:547.451

А. Г. Малявин, А. А. Кузьменко, А. С. Затуловский, В. А. Щерецкий

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

Тел./факс.: *044 424 35 42, e-mail: rnmptima@ukr.net*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ И ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ ОКСИФТОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ

Были изучены вязкость и основные литейные свойства оксифторидных расплавов – жидкотекучесть и усадка (объемная и линейная).

Вязкость и литейные свойства оксифторидных расплавов изучали на фторфлогопитовых материалах 1-3, химический состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав фторфлогопитовых материалов

Материал	M	Содержание компонентов, масс. %									
		SiO_2	Al_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	CaO	F	$F_2{=}O_2$	Σ
1	1,91	37,0	16,4	28,1	10,8	0,2	0,4	1,3	10,1	4,2	100,1
2	2,99	41,3	11,7	28,3	10,5	0,4	0,3	1,1	10,6	4,5	99,7
3	3,92	43,7	9,5	28,5	10,1	0,3	0,3	1,4	10,3	4,3	99,8

Для характеристики изучаемых материалов применили специальный критерий, учитывающий особую роль соотношения сеткообразующих катионов Si^{4+}и Al^{3+}, проявляющуюся при формировании фторфлогопита, алюмосиликатный модуль (M) [1]:

$$M=Si^{4+}/Al^{3+} \quad (1)$$

Определение вязкости производили с помощью модернизированного вискозиметра типа ОРГРЭС. Характер температурного изменения вязкости оксифторидных расплавов идентичен: медленное нарастание в интервале 1400-

1520 °С, переходная область при 1300-1400 °С и быстрое нарастание вязкости при снижении температуры ниже 1300 °С. Исследованные расплавы относятся к «коротким», с малым интервалом затвердевания и резким повышением вязкости в области кристаллизации.

Жидкотекучесть изучали с помощью усовершенствованной U-образной пробы, применяемой для определения литейных свойств металлических сплавов. Объемную усадку оксифторидного расплава определяли по разности между теоретической и реальной массой технологических проб объемом 650 и 690 $см^3$, которые имели конфигурацию усеченного конуса. Линейную усадку изучали по методике и на установке, разработанной в Институте проблем литья АН УССР [2].

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение регрессии, связывающее в интервале 1350-1500°С жидкотекучесть с величиной алюмосиликатного модуля и температурой:

$$\lambda = (1{,}095\text{-}0{,}095)\ t\text{-}(1051`\text{-}104\ M), \qquad (2)$$

Где λ - жидкотекучесть, мм, М – величина алюмосиликатного модуля, t – температура, °С.

Жидкотекучесть изученных расплавов при температуре заливки в интервале 1400-1450 °С составляет 360-480 мм.

Объемная усадка реализуется в виде ярко выраженных сосредоточенных концентрированных усадочных раковин в верхней части проб, распространяясь, в зависимости от их формы, на глубину, для конусных на 15-20 %, цилиндрических - 20-25% их высоты. Под усадочной раковиной расположена сосредоточенная усадочная пористость, глубина распространения которой в цилиндрических слитках составляет 30-50 % их высоты, диаметр - 20-30 % диаметра пробы. В конусных – усадочная пористость имеет незначительное развитие. Для образцов камнелитого фторфлогопитового материала характерно образование концентрированной усадочной раковины в виде полости, разделенной «мостами», которые, как правило, не сплошные, а имеют отверстия. Это свидетельствует о последовательном характере затвердевания оксифторидного расплава, при котором, находящийся в центральной части отливки расплав, является источником питания кристаллизующегося объема.

Вязкость оксифторидных расплавов в интервале температур приготовления расплавов (1400-1500 °С) составляет 0,25-0,55 н•сек/$м^2$. В литейном (выработочном) интервале температур (1400-1450 °С) вязкость составляет 0,4-0,72 н•сек/$м^2$.

В результате изучения объемной усадки расплавов установлено, что для получения камнелитых фторфлогопитовых отливок заливку расплава в литейные формы необходимо производить при температуре 1400-1450 °С.

Литейные свойства расплавов находятся в непосредственной зависимости от их химического состава и температуры.

Оксифторидные расплавы характеризуются высокой жидкотекучестью, которая по U-образной пробе составляет 370-480 мм в интервале температур 1430-1520 °С, а также хорошей заполняемостью литейной формы. Установлена эмпирическая зависимость жидкотекучести от температуры и химического состава, выражаемого алюмосиликатным модулем.

Общая объемная усадка оксифторидного расплаве в интервале температур 1400-1520 °С составляет 4,7-9 %, линейная усадка около 1,0 %. Оптимальный литейный интервал температур – 1400-1450 °С.

Установлено, что по своим физико-химическим и технологическим свойствам оксифторидные расплавы могут быть использованы в качестве литейного сплава для изготовления сложных фасонных камнелитых фторфлогопитовых изделий методами литейной технологии.

Список литературы

1. **Пархоменко М.А.** Исследования по получению синтетических слюд и новых материалов на их основе. – Автореферат канд. техн. наук. – Киев. – 1965. – С.18.

2. **Вареник В.А. и др**. Методика определения усадки литейных сплавов. - Сб. Литейные свойства сплавов, - Изд-во ИПЛ АН УССР, Киев, 1972, С. 230-234.

УДК 621.746: 669.18

В. А. Мамишев, О. И. Шинский, Л. А. Соколовская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

E-mail: vmamishev.gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ И ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ФОРМ НА РЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Для получения качественных слитков и фасонных отливок разной массы, конфигурации и габаритных размеров применяются чугунные изложницы, стальные и чугунные кокили или графитовые, керамические и песчаные формы. Системный анализ показал, что теплоаккумулирующие и теплопроводящие формы в разной степени выполняют свои основные технологические функции:

1) при заливке расплава в полость формы ее плоские или криволинейные стенки ограничивают самопроизвольное растекание жидкого металла;

2) простая или сложная геометрия внутренней поверхности формы образует нужную конфигурацию получаемой заготовки (слитка или отливки);

3) податливая форма из дисперсных материалов снижает термические напряжения в контактной зоне заготовка-форма, что уменьшает вероятность возникновения поверхностных трещин в затвердевающем слитке или отливке;

4) капиллярно-пористые стенки формы обеспечивают отвод во внешнюю среду газов, образующихся при кристаллизации металлического сплава;

5) стенки литейной формы способствуют регулированию интенсивности внешнего теплоотвода от затвердевающей заготовки в окружающую среду.

В толстых теплоаккумулирующих стенках постоянных металлических форм (изложницы и кокили), полупостоянных (перетачиваемых) графитовых форм и разовых (разрушаемых) песчаных форм накапливается теряемая слитком или отливкой теплота перегрева расплава, теплота жидкой и твердой фаз в интервале температур ликвидус – солидус, скрытая теплота кристаллизации и теплота охлаждающейся корки затвердевшего металла.

Тонкие, нагретые жидким и кристаллизующимся металлом почти до температуры поверхности слитка или отливки, теплопроводящие стенки неразрушаемых металлических форм (тонкостенные кокили) и разрушаемых

керамических форм (огнеупорные оболочки) значительное количество теплоты, которую получает форма от затвердевающей заготовки, отдают во внешнюю среду по механизму суммарного лучистого и конвективного теплообмена [1].

Термическое сопротивление тепловому потоку от расплава через стенки теплопроводящих форм меньше, чем у теплоаккумулирующих форм [2]. При получении отливок небольшой массы тонкие стенки теплопроводящих форм нагреваются до температур близких к температуре поверхности литых заготовок. При высоких температурах формы интенсивное тепловое излучение во внешнюю среду ускоряет процесс охлаждения затвердевающей заготовки, что позволяет получить более мелкую структуру литого металла. Этот эффект можно усилить за счет интенсификации конвективного теплоотвода от горячих стенок теплопроводящей формы при их обдуве холодным воздухом.

При затвердевании заготовок в теплоаккумулирующих формах из-за большого термического сопротивления их стенок распределение температуры по толщине формы неравномерное, особенно в стенках песчаных форм по сравнению с чугунными изложницами. Рабочие слои теплоаккумулирующих форм нагреваются до высоких температур, а их наружные слои нагреваются до более низких температур, при которых тепловое излучение от стенок формы во внешнюю среду неинтенсивное. В итоге, невысокая интенсивность теплоотвода от затвердевающих в теплоаккумулирующих формах литых заготовок приводит к образованию крупнокристаллической структуры литого металла.

Теплофизическое воздействие форм на процесс затвердевания заготовок позволяет управлять [3] принудительным перемешиванием расплава в жидком ядре слитка или крупной отливки. Этому способствует захолаживание расплава твердыми частицами в виде теплоаккумулирующих микрохолодильников и обломков ветвей дендритов или в виде поверхностно-активных модификаторов.

Список литературы

1. *Мамишев В.А.* О роли критерия качества литья для оценки структурных зон слитков в условиях их затвердевания и подпитки // Разливка стали в слитки: Сб. науч. трудов / АН УССР. Ин-т проблем литья. – Киев, 1987. – С. 23-26.

2. *Мамишев В.А., Соколовская Л.А.* О теоретическом прогнозировании термических условий повышения качества макроструктуры и эффективности

затвердевания стальных слитков и слябов // Процессы разливки и кристаллизации стали. Сб. науч. трудов / АН Украины. Ин-т проблем литья. – Киев, 1991. – С. 72-82.

3. *Мамишев В.А.* Реотермическая концепция управления кристаллическим строением литых изделий // Процессы литья. – 2004. – № 3. – С. 43-48.

УДК 621.74

Мариненко Д. В, Пономаренко О. І., Русабров А. Є.

Національний Технічний Університет

«Харківський Політехнічний Інститут»

Харків

ЗАСОБИ ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЯ ТРІЩІН У ВИЛИВКАХ

Оскільки тріщини в деталях неприпустимі, то їх слід усувати ще на етапі лиття. Відсутність простих і точних методів прорахунку виникнення тріщин і засобів автоматичного виконання завдання їх усунення, змушують технологів експериментальним шляхом вирішувати поставлені перед ними завдання. Все це ускладнює створення якісного виливка.

Важливим завданням є створення алгоритму розрахунку тріщин у виливках, на основі існуючих практик, теоріях й гіпотезах. Для цього необхідно вирішити такі завдання:

– дати визначення тріщини, відповідно поставленого завдання;

– описати основні фактори, що впливають на утворення тріщин, і ступінь їх впливу;

– існуючими формалізованими методами описати вплив обраних факторів на тріщину в литві;

Тріщини бувають двох видів: холодні і гарячі. Оскільки міжфазовий перехід відбувається в інтервалі температур, неможливо точно сказати в який момент почала зароджуватися тріщина.

Основні заходи, щодо усунення тріщин, є:

– використовувати спрямовану кристалізацію.

– обирати формувальну та стрижневу суміш з достатньою податливістю, для створення вільної усадки виливки.

– в місцях локального перегріву встановлювати холодильники.

– при проектуванні ливарної технології, живлення виливкавиконувати в тонкі стінки.

Це дозволить отримувати якісні виливки без тріщин з чорних та кольорових сплавів.

УДК 669.131.622:669.74

О.В. Меняйло, Ю.С. Пройдак, В.Є. Хричиков

Національна металургійна академія України, Дніпро

ПОПЕРЕДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ГАРЯЧИХ ТРІЩИН У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ЧАВУННИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

Гаряча тріщина – це дефект литої структури на поверхні виливка, який утворюється в інтервалі температур ліквідус-солідус у твердо-рідкій частині виливка. Причиною цього є гальмування його лінійної або об'ємної усадки, яке нерідко призводить до утворення у литому виробі, зварювальному шві або у близькошовній області гарячих тріщин.

Для підвищення стійкості матеріалу виливку до утворення гарячих тріщин рекомендується: зменшувати розмір первинного зерна виливка, наприклад, шляхом модифікування сплаву; впливати на розплав, що кристалізується фізичними методами, наприклад, ультразвуком, електромагнітним полем і т.п.; забезпечити утворення другої фази при кристалізації сплаву, яка створить додаткові центри кристалізації; підвищити міцність міжкристалічних кордонів за рахунок зменшення вмісту легкоплавких домішок; зменшити температурний інтервал кристалізації сплаву; вводити у розплав ультрадисперсні частинки, які є додатковими центрами кристалізації і забезпечують дрібнозернисту структуру металу; вводити у розплав РЗМ або інші поверхнево активні елементи, що підвищують міцність металу; прискорити затвердіння сплаву у зонах утворення тріщин за рахунок збільшення тепловідведення в окремих частинах ливарної форми (встановити зовнішні холодильники, використовувати хромомагнезитові формувальні суміші і т.п.); змінити конфігурацію виливка, зменшити "гострі" кути на ливарній формі, поставити ребра жорсткості і т.п.

Однак, не дивлячись на наявні гіпотези, заходи та технологічні прийоми по попередженню виникнення гарячих тріщин у литих виробах, проблема гарячих тріщин до теперішнього часу не вирішена. Тому проблема прогнозування і попередження утворення гарячих тріщин у виливках і злитках, є актуальною.

З перерахованих вище способів підвищення тріщиностійкості литої полікристалічної структури найбільш ефективним є її подрібнення. Відповідно до сучасних уявлень, зменшення розміру макрозерна у литих виробах збільшує ступінь кристалографічної дезорієнтації її матеріалу і, відповідно, ступінь анізотропності його фізичних властивостей. Як результат, за різними напрямами у виливку знижується різниця величин його лінійної усадки і зростає пластичність матеріалу. Подрібнення зерна призводить також до збільшення протяжності міжзерених кордонів, зменшення їх товщини, що обумовлює зниження концентрації домішок, які є лікватами. Тому підвищуються міцність і тугоплавкість міжзерених кордонів, а тріщиностійкість литого матеріалу підвищується.

Одним з факторів, що впливають на утворення гарячих тріщин у виливках, є нерівномірність затвердіння шару металу на початку кристалізації. Так, при литті чавунних прокатних валків часто виникає гаряча тріщина у зоні вертикального роз'єму кокілю з литим калібром. Її виникнення обумовлено повітряним зазором між двома половинами кокілів, який має меншу теплоакумулюючу здатність у порівнянні з чавунним кокілем. Тому на стику кокілів товщина шару металу, що твердіє, менша, у порівнянні з шаром металу на стінках форми. В процесі усадки металу, який має меншу товщину у порівнянні з шаром затверділого металу навколо суцільній поверхні кокілю, виникають напруги, які реалізуються у гарячі тріщини.

Для усунення повітряного зазору між двома половинками кокілів вальцеливарники заповнюють щілину суспензією каолінової глини, а потім просушують газовим пальником. Однак шар затверділого металу у зоні щілини менший, ніж на поверхні чавунному кокілю. Це обумовлено меншою теплоакумулюючою здатністю суспензії з каолінової глини. Використання хромомагнезитової рідиноскляної формувальної суміші, яка має більшу теплоакумулюючу здатність у порівнянні з піщано-глинистою сухою формою, також не забезпечує виникнення гарячої тріщини.

Усунути повітряний зазор на стиках двох частин кокілів практично неможливо. Тому запропоновано на стиках чавунних кокілів розміщувати мідні пластини. Середня сумарна теплоакумулююча здатність повітряного зазору і міді забезпечить

вирівнювання товщини затверділого шару металу на робочій поверхні бочки, що також підвищить експлуатаційну стійкість валка.

Таким чином, підвищення міцності частини виливку, які розміщені на стиках кокілів у зоні вертикального роз'єму, зменшить вірогідність утворення гарячої тріщини.

УДК 621.74

Мухтарзаде Вусал, Кравцова Н. В. Костик К.О.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», Харьков

ОСОБЛИВОСТІ ПІСКОДУВНОГО ПРОЦЕСУ В СТРИЖНЕВІЙ МАШИНІ

Піскодувний процес базується на використанні кінетичної енергії стисненого повітря. Сучасні засоби автоматики дозволяють забезпечувати регулювання часу надуву в широких межах, а саме від десятих часток секунди до декількох секунд. При розробках стрижневих машин стоїть актуальне завдання створення всередині машини системи герметичних пристроїв, які забезпечують прохід стисненого повітря через акумулятор стрижневий суміші, її захоплення стисненим повітрям і транспортування потоку суміші з максимальною швидкістю в стрижневе оснащення з метою досягнення технологічно необхідної щільності стрижня.

Метою даної роботи є дослідження особливостей піскодувного процесу в стрижневій машині.

Для досягнення мети в роботі розглянуто сутність піскодувного процесу. Він полягає в тому, що цей процес в стрижневій машині здійснюється за рахунок енергії стисненого повітря швидкісного транспортування суміші з піскодувного резервуара в стрижневу оснастку і забезпеченні її необхідної щільності в сформованому стрижні. Піскодувний процес дуже швидкоплинний, оскільки швидкість потоку стислого повітря становить до 12–16 м/с. Такий процес в стрижневій машині реалізується за допомогою системи піскодувних пристроїв. Вона включає в себе накопичувач стисненого повітря, клапан надуву, перехідну ємність, надувну плиту з надувними соплами для замикання всіх елементів піскодувних пристроїв в єдину герметичну

систему і безпосереднього вдування суміші в стрижневу оснастку. Відмічено, що венти, які вмонтовані в стрижневу оснащення, призначені для вільного виходу з оснащення стисненого повітря. Показано, що клапан вихлопу спрацьовує після заповнення оснащення сумішшю і забезпечує розгерметизацію системи піскодувних пристроїв і прискорення скидання надлишків стисненого повітря.

Таким чином, систему піскодувних пристроїв протягом усього часу вдуву суміші можна розглядати як герметично замкнуту трубу змінного перерізу, що починається з ресивера і закінчується вентами, через які здійснюється вільний вихід стисненого повітря в атмосферу.

УДК 669.141.266:621.65

Новицкий, С. Я. Шипицын, В. Л. Лахненко, В. А. Локтионов-Ремизовский, Н. А. Кальчук, Н. Н. Грибов

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

Тел. 044 4242450, e-mail: v_novytskyy@ukr.net

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТОЙ СТАЛИ 120Х15Ю ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одним из главных направлений развития топливно-энергетического комплекса на длительную перспективу является повышение надежности, экономичности, долговечности и других технико-экономических показателей насосов, как одного из основных элементов тепломеханического оборудования тепловых и атомных электростанций. В настоящее время эксплуатируются тысячи насосных агрегатов, ремонты которых связаны с огромными материальными и трудовыми затратами. Надежность и экономичность работы этих агрегатов определяется работоспособностью узлов уплотнений, эксплуатирующихся в сложных условиях трения скольжения и коррозионно-эрозионного разрушения. Изучение информационных материалов ведущих насосостроительных фирм мира: «Sulzer» - Швейцария, «KSB» – Федеративная Республика Германия, «WIER» - Великобритания и др. показало, что на протяжении последних лет применяются специальные стали, которые не склонны к схватыванию в момент контактирования вращающихся и неподвижных деталей, происходящего в момент пуска и остановке

насоса. Использование в отечественном насосостроении для уплотнительных колец сталей 20Х13 и 30Х13 не позволяет обеспечить технологические зазоры, отвечающие мировым стандартам. Эти стали обладают склонностью к схватыванию и сильному износу, что не позволяет уменьшить величину зазоров в уплотнениях рабочих колес и системах гидроразгрузки до минимальных величин. Это не позволяет увеличить кпд насосов и уменьшить расход потребляемой ими электроэнергии (потребляемая мощность одного энергетического насоса составляет ~ 1400-9000 кВт).

Для решения этой проблемы исследовались сравнительные трибологические характеристики литой 120Х15Ю и стандартной деформируемой 20Х13 сталей в условиях граничного трения (в зону контакта подавали воду) и процесс формирования вторичной структуры при трении.

Испытания образцов на износ в условиях трения скольжения проводили по схеме вал (контртело – сталь 20Х13) – вкладыш (исследуемые стали). Скорость скольжения составляла 1 м/с и удельная нагрузка 5 МПа. Изучение микроструктуры проводили на оптическом микроскопе, фазовый состав и параметры тонкой структуры исследуемых сталей определяли при помощи рентгеноструктурного анализа в железном Kα-излучении.

Микроструктура стали 20Х13 представляет собой феррито-карбидную смесь, состоящую из высокохромистого феррита и карбида типа $Cr_{23}C_6$, а литой стали 120Х15Ю – феррито-карбидную смесь, состоящую из высокохромистого феррита и карбида типа Cr_7C_3 с эвтектикой ($\alpha + Cr_7C_3$) по границам зёрен.

Результаты испытаний сталей в условиях граничного трения показали, что интенсивность изнашивания литой стали 120Х15Ю в 3 раза меньше, чем деформируемой стали 20Х13. Можно предположить, что уменьшение интенсивности изнашивания литой стали 120Х15Ю обусловлено появлением эвтектики в исходной структуре, а также предварительным накоплением дефектов кристаллической структуры в деформируемой стали 20Х13 в процессе её получения.

Следует отметить, что в поверхностных слоях стали 20Х13 после трения не наблюдается α↔γ превращения, и диссипация энергии трения осуществляется за счёт тепловых полей и изменения тонкой структуры α-фазы. В процессе трения эти изменения выражаются в увеличении микроискажений III рода $(\sqrt{\bar{u}^2})_\alpha$ в 1,5 раза и плотности дислокаций $(\rho)_\alpha$ в 2,2 раза, при этом размер областей когерентного

рассеяния рентгеновских лучей (ОКР) Dα не изменяется по отношению к исходному состоянию.

Для литой стали 120Х15Ю также наблюдается уменьшение количества α-фазы в 2 раза, размер ОКР Dα уменьшается в 4 раза, микроискажения II рода $(\Delta a/a)_\alpha$ увеличиваются в 1,8 раза, плотность дислокаций $(\rho)_\alpha$ увеличивается в 12,6 раза. Дополнительным фактором для диссипации энергии трения является протекание α↔γ превращений в поверхностных слоях трения. В этом случае в поверхностном слое трения литой стали устанавливается динамическое равновесие между α- и γ-фазами, а также наблюдается равенство плотностей дислокаций в них.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке литых сталей для деталей проточной части энергетических насосов типа ПЭ, УН, КсВ и др.

УДК 621.74:539.216

А.С. Нурадинов, А.В. Ноговицын, И.А. Нурадинов, Н.Ф.Зубенина

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

+38 (044) 424-25-96; nla_73@ukr.net

ВЛИЯНИЕ ТЕРМО-СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

В ходе перегрева металлических расплавов для их перевода из неравновесного состояния в равновесное иногда необходимо обеспечить высокие значения температуры перегрева, что является главной причиной формирования крупнозернистой кристаллической структуры [1]. Поэтому, чтобы обеспечить формирования благоприятной структуры и свойств литого металла, этот фактор необходимо учитывать.

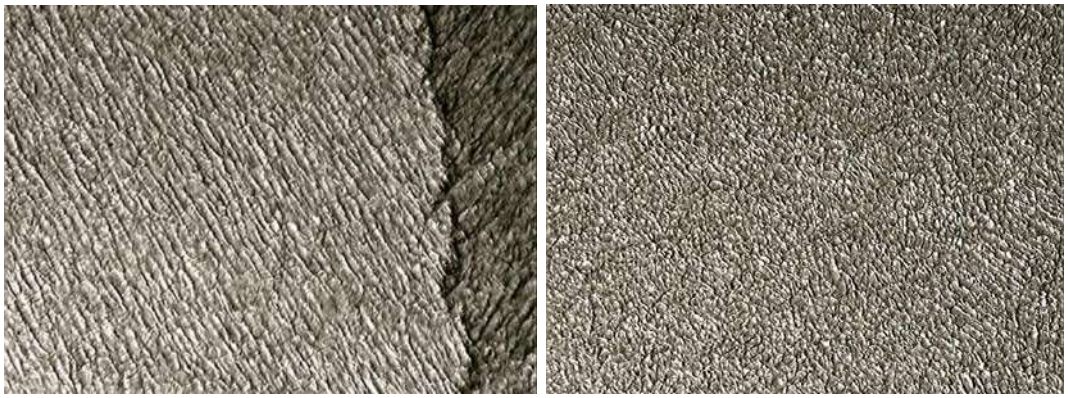
В данной работе изучено комплексное влияние различных внешних факторов (температуры перегрева $\Delta t_{пер.}$, интенсивности охлаждения $W_{охл.}$ и вибрации) на формирование структуры модельного сплава.

Установлено, что отрицательное влияние больших перегревов на дисперсность дендритной структуры можно практически нивелировать, регулируя интенсивность теплоотвода, т.е. переохлаждение и скорость кристаллизации.

Однако оптимальные их режимы должны тщательно отрабатываться для каждой группы сталей, объема и формы отливаемых заготовок.

При этом также установлено, что, независимо от уровня перегрева расплава и интенсивности теплоотвода, обеспечить формирование дисперсной дендритной структуры при затвердевании металлических сплавов можно, воздействуя вибрацией. Даже для очень больших перегревов расплава (эквивалентных перегреву углеродистых сталей на 250-300°С) вибрация кардинально меняет макро- и микроструктуру модельного сплава (рис. 1). В контрольном эксперименте макроструктура состоит из крупных равноосных кристаллов неправильной формы, в то время как под действием вибрации формируется равномерная мелкозернистая структура высокой дисперсности. Кроме этого, под действием вибрации изменения в дендритной структуре приводят к значительным изменениям микроструктуры модельного сплава (рис. 1, *в* и *г*). При обычном затвердевании сплава формируется микроструктура с неблагоприятным блочным строением, при этом между блоками четко видна граница раздела (рис. 1, *в*). После действия вибрации микроструктура сплава характеризуется отсутствием блочного строения и четких границ первичного зерна, а также их большей однородностью и дисперсностью (рис. 1, *г*).

а *б* х 5



в *г* х 100

Рис. 1 - Макро- и микроструктура модельного сплава при перегреве расплава $\Delta t_{пер.}$= 12°С и скорости его охлаждения $V_{охл.}$= 6°С/мин.:
а, в – без вибрации; *б, г* – при действии вибрации

Полученные результаты свидетельствуют о возможности эффективного управления структурой литого металла на первом этапе производства заготовок путем воздействия вибрацией и регулирования интенсивности теплоотвода при кристаллизации сталей.

Список литературы

1. *Баум Б.А.* Металлические жидкости – проблемы и гипотезы. – М.: Наука, 1979. - 120 с.

УДК 621.742.4

И. А. Осипенко
Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЫЛИ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХИМИЧЕСКИ-ТВЕРДЕЮЩИХ ФОРМ

Разработка и использование высокоогнеупорных химически-твердеющих смесей в литейном производстве диктуется не только необходимостью снижения энергетических затрат и повышения требований к получаемым в них отливкам, но и использованием в составах химически-твердеющих смесей (ХТС) высокодисперсных отходов металлургического производства [1-3]. Использование в составах ХТС дисперсных материалов (пылей) техногенного производства (ПТП) обеспечивает не только утилизацию пылевидных захоронений и, как следствие улучшение экологической обстановки в регионе, но и экономию материальных ресурсов и повышение производительности труда. Фосфатные ХТС для форм и стержней с использованием ПТП обладают достаточно высокой прочностью и термостойкостью, не содержат токсичных веществ [3-5]. При высокотемпературном нагреве и последующем охлаждении фосфатные ХТС с ПТП, разупрочняясь, обеспечивают легкую выбиваемость. Их низкая газотворность сокращает брак отливок по газовым раковинам и улучшает санитарно-гигиенические условия труда.

Улучшение качества и снижение стоимости формовочных смесей за счет использования различных пылевидных отходов металлургического производства - одно из перспективных направлений, а также исследования, направленные на разработку и внедрение эффективной технологии утилизации отходов, являются важными и актуальными.

В работе ставилась задача исследований – определение влияния пылевидных материалов техногенного происхождения на прочностные свойства и газопроницаемость разработанных ХТС. Использовали в составах ХТС такие ПТП как: пыль газоочистки производства ферросилиция (ПГПФ); пыль газоочистки плавки нормального электрокорунда (ПГПНЭ); пыль аспирационной установки дробления боксита (ПАУДБ); пыль боксита спекания на мультициклоне (ПБМЦ); пыль газоочистки аспирационных установок плавки ферромарганца (ГАС-2 и ГАС-3). По результатам исследований установлено, что с увеличением содержания ПТП (до 10%, по массе) предел прочности на сжатие через временные интервалы (1,3 и 24 ч) повышается для всех составов ХТС, а величины осыпаемости и газопроницаемости снижаются в обратнопропорциональной зависимости от характеристики прочности на сжатие. По результатам обработки полученных данных установлена закономерность изменения осыпаемости от величины газопроницаемости, прочности при сжатии и временем с момента изготовления исследуемых ХТС. В работе высказано предположение, что основным фактором, объясняющим механизм твердения разработанных ХТС является удельная поверхность связующего (ПТП). Приведенные выше исследования позволили обосновать целесообразность использования в качестве основы огнеупорных растворов на фосфатных связующих исследованных ПТП.

Список литературы

1. *Рогачев, И. П.* В сб. «Физико-химические исследования малоотходных процессов в электротермии / И.П. Рогачев, А.Н. Овчарук. – М. : Наука. 1985. С. 65-67.

2. *Будников, П.П.* Огнеупорные бетоны на фосфатных связках / П.П. Будников, Л.Б. Хорошавин – М. : Металлургия, 1971. – 192 с.

3. *Копейкин, В.А.* Материалы на основе металллофосфатов / В.А. Копейкин, А.П. Петрова, И.Л. Рашкован – М. : Химия, 1976. – 200 с.

4. *Жуковский, С.С.* Формовочные материалы и технология литейной формы / С.С. Жуковский – М. : Машиностроение, 1993. – 432 с.

5. *Берг, П.П.* Формовочные материалы / П.П. Берг – М.: Машиностроение, 1963. – 408 с.

УДК 621.365.5

Островерхова К.В., Волощук К.В., Костик К.О.
Національний технічнийуніверситет
«Харківський політехнічнийінститут», Харьков

ОСОБЛИВОСТІ ІНДУКЦІЙНИХ КАНАЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

У ливарному виробництві актуальним питанням залишається вибір плавильного обладнання, яке повинно бути економічним, мобільним, зберігати метал досить тривалий час в розплавленому стані без окислення і при необхідності мати можливість достатньо швидко підготувати його для використання в технології. Таким вимогам відповідають індукційні канальні печі.

Метою даної роботи є вивчення особливостей індукційних канальних печей.

Зазначено, що при великій різноманітності типів індукційних канальних печей їх основні конструктивні вузли є загальними для всіх різновидів: трансформатор печі, футеровка, корпус, вентиляційна установка, механізм нахилу.

В роботі розглянуто процеси перетворення електричної енергії в інші види енергії з одночасним здійсненням технологічних процесів, в результаті яких змінюються властивості вихідного матеріалу. Також детально вивчені і відзначені основні переваги і недоліки індукційних канальних печей. При цьому хімічний склад розплаву виходить однорідним у всіх точках об'єму, як у ванні, так і в каналі. Також до переваг індукційних канальних печей відносяться такі, як мінімальний угар і обмежене випаровування металу, так як нагрів відбувається знизу; вони мають високий електричний коефіцієнт корисної дії завдяки використанню замкнутого магнітопроводу; низькі витрата енергії на розплавлення, перегрів і витримку металу. Відмінною рисою канальних печей є простота їх монтажу та обслуговування.

Таким чином, індукційні канальні печі є найбільш економічним типом плавильного обладнання перетворення електричної енергії в теплову. Наявність водяного охолодження дозволяє надійно відводити зайве тепло при роботі індуктора.

Вивчення цього питання дозволяє зробити висновок, що наявність в індукційних канальних печах електродинамічного та теплового руху розплавленого металузабезпечує однорідність хімічного складу і рівномірність його температури у ванні печі, а також сприяє прискоренню процесу плавлення.

УДК 621.74.046:620.16

Пелікан, Д. В. Глушков, В. П. Лихошва, Л. М. Клименко

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

тел./факс (044) 424-32-30, E-mail: otmlp@ptima.kiev.ua

ГІБРИДНА ЛИВАРНО-SHSТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ПЛАСКИХ БІМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ З ПОДОВЖЕНИМ ТЕРМІНОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

На підставі узагальнених результатів виконаних досліджень кінетики процесу твердофазного горіння в умовах плаского поширення хвилі, змінювання температури твердої металевої підкладки, а також кінетики процесів заливання та твердіння розплаву на розігрітій металевій підкладці розроблено технологічну схему процесу одержання пласких біметалевих виробів ливарно-SHS методом. Основними технологічними операціями визначено наступні: виготовлення ливарної форми; підготовка твердої металевої підкладки; підготовка екзотермічної суміші; засипання та ущільнення екзотермічної суміші у камері горіння ливарної форми; розміщення твердої металевої підкладки у порожнині ливарної форми; складання ливарної форми; виплавка рідкого металу; підпал екзотермічної суміші та заливання рідкого металу у ливарну форму; вибивання готового біметалевого виробу із ливарної форми; проведення фінішних операцій; проведення термічної обробки.

Розроблено раціональні технологічні режими виготовлення пласких біметалевих виробів ливарно-SHS методом. Встановлено, що оптимальна температура нагріву стальної підкладки становить $(0,7 – 0,8)T_{с.ст}$. Для забезпечення вказаної температури маса екзотермічної суміші повинна складати 0,8 – 1,2 від маси підкладки. Визначено, що оптимальна температура заливання розплаву зносостійкого чавуну на розігріту підкладку становить $(1,09 – 1,12)T_{л.чав}$.

Складено технологічну інструкцію на процес отримання пласких біметалевих виробів гібридним ливарно-SHS методом. Розроблено технічні рекомендації щодо

використання ливарно-SHS методу у різних галузях промисловості, в т.ч. авіаційній, металургійній, гірничодобувній, будівельній та ін.

УДК 539.3

А.Г. Пригунова

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України, м. Київ

Тел./факс.: 0444241150, e-mail: adel_nayka@ukr.net

В.Д. Бабюк

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України, м. Київ

Є.А. Жидков

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України, м. Київ

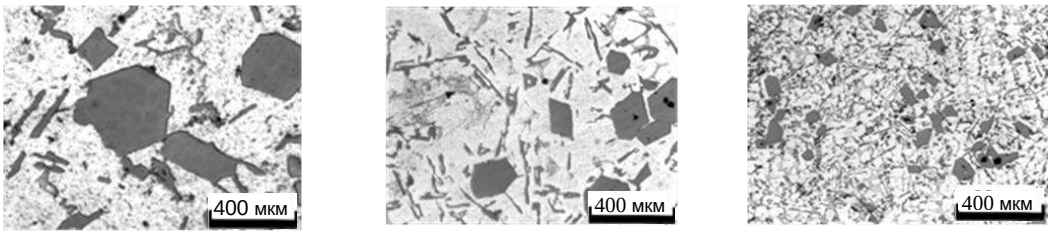
ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ ДРІБНОКРИСТАЛІЧНОЮ ТА РІДКОЮ ЛІГАТУРОЮ CuP НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ЗАЕВТЕКТИЧНИХ СИЛУМІНІВ

Дієвим фактором впливу на структуроутворення є введення до розплаву невеликих присадок різних елементів, які докорінно змінюють процес кристалізації і тверднення виливків [1, 2].

Заевтектичні силуміни як конструкційні матеріали мають ряд переваг, що зумовлює їх застосування в машинобудуванні, зокрема, в двигунобудуванні. Для підвищення їх властивостей широко використовується легування, яке, перш за все, забезпечує зміцнення твердого розчину алюмінію, особливо за рахунок дисперсійного тверднення [3]. При традиційних технологіях отримання виливків із заевтектичних алюмінієво-кремнієвих сплавів у процесі їх кристалізації формуються грубоголчаста евтектика та первинні кристали кремнію у формі пластин з розвиненими гранями, що призводить до окрихчування, яке посилюється з ростом вмісту кремнію. Це істотно знижує механічні характеристики, погіршує оброблюваність виливків і якість поверхні, збільшує знос ріжучого інструменту.

У роботі розроблено технологічні способи одержання та введення до розплаву гранульованих дрібнокристалічних модифікаторів, виготовлених розпорошенням

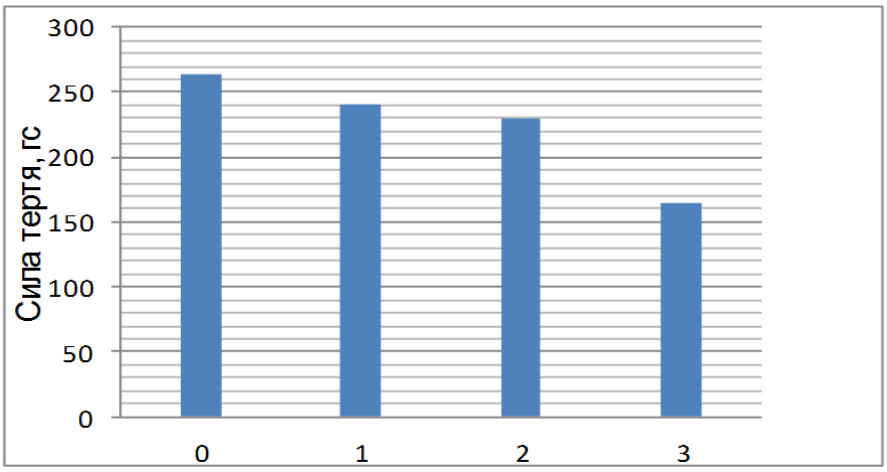
лігатури CuP низькотемпературною плазмою на мідну підкладку, а також модифікування рідкою лігатурою, отриманою розплавленням плазмою стрижнів з матеріалу модифікатора. Використання таких способів модифікування приводить до значного (майже на 80 %) зменшення розмірів первинних кристалів кремнію в заевтектичному сплаві AlSi19Cu5Mg1 порівняно з модифікуванням за традиційною технологією (рис.1), при зменшенні дендритного параметру твердого розчину алюмінію в 1,3…1,5 рази. При цьому сила сухого тертя заевтектичного силуміну (рис.2), модифікованого рідкою лігатурою CuP, введеною в розплав у потоці плазми, в 1,7 разів менша, ніж в парі з немодифікованим сплавом, при триразовому зменшенні зносу.



а б в

а - без модифікування; б - модифікування за стандартною технологією; в - введення лігатури в розплав у потоці плазми

Рис.1 – Мікроструктура сплаву AlSi19Cu5Mg1 при різних способах модифікування



0 – вихідний немодіфікований сплав; 1 – модифікування за стандартною технологією; 2 – модифікування гранульованою лігатурою; 3 – введення лігатури в розплав у потоці плазми

Рис. 2 – Сила тертя сплаву AlSi19Cu5Mg1 при різних способах модифікування

Список літератури

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием // Г.Б. Строганов, В. А. Ротенберг, Г. Б. Гершман.- М.: Металлургия, 1977.- 272 с.

2. Мальцев М. В. Модифицирование структуры металлов и сплавов / М.В. Мальцев.- М.: Металлургия, 1964.- 214 с.

3. Золотаревский В.С., БеловН.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. - М.: МИСИС, 2005. – 376 с.

УДК 669.715:678.04

А.Г.Пригунова, Є.А. Жидков, В.Д. Бабюк, Л.К. Шеневідько, А.М. Недужий

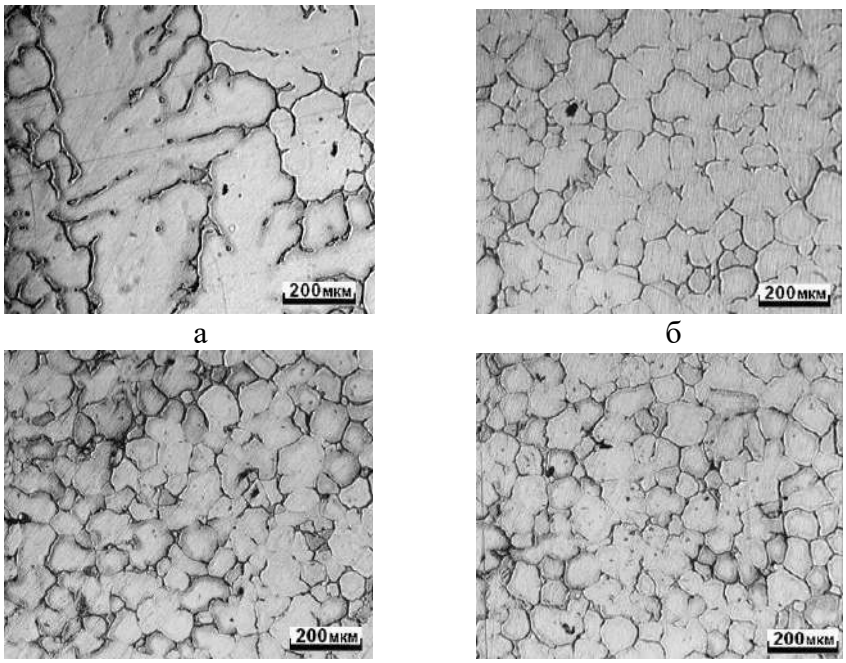
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

Тел./факс.: 0444241150, e-mail: adel_nayka@ukr.net

МІКРОСТРУКТУРА СПЛАВУ ВАЛ10 ПРИ МОДИФІКУВАННІ ДРІБНОКРИСТАЛІЧНИМИ ДОБАВКАМИ

Сплав ВАЛ10 відноситься до системи Al-Cu-Mn і завдяки високим фізико-механічним властивостям широко використовується в різних галузях техніки і промисловості. При постійно зростаючих вимогах до литих виробів традиційні шляхи підвищення їх якості стають все менш ефективними. В роботі досліджено структурні особливості мікроструктури сплаву ВАЛ10 при модифікуванні його дрібнокристалічними добавками, одержаними високошвидкісним охолодження розплаву ($V_{охол.} \approx 10^5$ °С/с) того ж складу на мідному барабані. Основною структурною складовою отриманих металевих плівок товщиною 100 – 150 мкм є твердий розчин алюмінію переважно розеткоподібної та глобулярної форми з розміром кристалів 1000 – 200 нм, розмірний фактор яких близький до 1.

Дрібнокристалічні добавки вводили до розплаву ВАЛ10 при температурі 720 °С в кількості 0, 3, 6, 9, 12 мас. %, після чого здійснювали охолодження зі швидкістю 0,4 °С/с, що відповідає умовам тверднення в піщаній формі (рис. 1).



а б в г

а – вихідний сплав; б – 6 мас.% добавок; в - 9 мас.% добавок; г - 12 мас.% добавок

Рис.1 – Зміна мікроструктури сплаву ВАЛ10 при введенні до розплаву дрібнокристалічних добавок, $V_{охол}$ = 0,4 °С/с

Мікроструктура вихідного сплаву ВАЛ10 (див. рис. 1 а) представлена виродженими дендритами твердого розчину алюмінію (Al_α) з середнім розміром 256 мкм (рис. 2), по границям яких розташовані частинки фази Al_3Ti та евтектики, що містять Al_α та інтерметаліди з міддю - $CuAl_2$, $Al_{12}Mn_2Cu$.

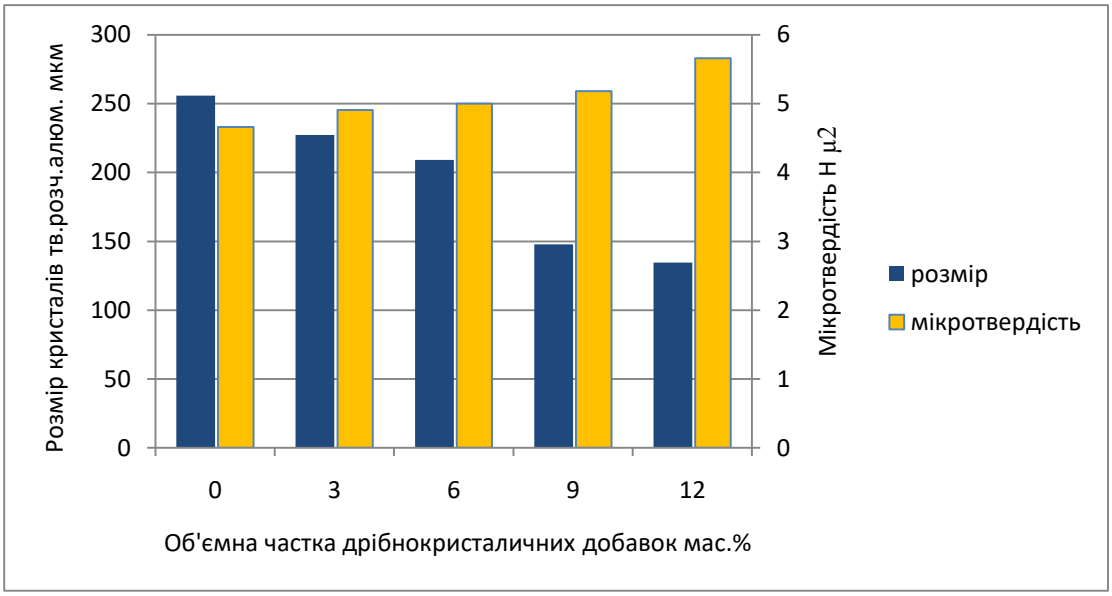


Рис. 2 – Розмір і мікротвердість кристалів Al_α в сплаві ВАЛ10 у залежності від об’ємної частки дрібнокристалічних добавок, введених до розплаву

Введення до розплаву дрібнокристалічних добавок приводить до суттєвого зменшення розміру кристалів Al_{α} (див. рис. 1, 2), зокрема, при масовій частці добавок 12 % - майже в два рази (з 256 мкм до 134 мкм). Вони стають більш рівноосні, переважно розіткоподібної та глобулярної форми, зменшується їх розмірний фактор: з 2,14 – у вихідному сплаві до 1,5 – 1,55 – при введені дрібнокристалічних добавок. Причому, незалежно від ступеня подрібнення, обумовленого масовою часткою добавки, розмірний фактор кристалів Al_{α} в них практично однаковий. Збільшується мікротвердість розчину алюмінію, яка найбільш висока в сплаві, модифікованому 12 мас. % добавок (див. рис. 1).

З огляду на одержані результати можна вважати, що модифікуючий ефект дрібнокристалічнх добавок на сплав ВАЛ10 пов'язаний з явищем структурної спадковості. Значне подрібнення структурних складових у металевих плівках сприяє надходженню до розплаву великої кількості готових центрів кристалізації. Цей факт разом з повною структурною та розмірною відповідністю елементів структури добавок, що вводяться до розплаву, та сплаву, що модифікують, становлять основну причину подрібнення мікроструктури виливка.

УДК 669.2/.8017:536.46

А.Г. Пригунова

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

Тел./факс.: 0444241150, e-mail: adel_nayka@ukr.net

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ, ЧАСУ ВИТРИМКИ В РІДКОМУ СТАНІ ТА ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ХАРАКТЕР ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ СИЛУМІНІВ

Вплив температури, часу витримки в рідкому стані і швидкості охолодження на структуру металів і сплавів широко відображено в літературі. В роботі встановлено раніше невідомі закономірності кристалізації Al–Si сплавів, обумовлені особливостями їх будови в рідкому стані.

З підвищенням температури розплаву збільшується його переохолодження, знижується температура ліквідусу. Вплив переохолодження на особливості процесу

кристалізації досліджено методом стоп-гартування, який полягає в перегріві сплаву АК9М2 з 0,9 % Fe до температур 800, 750, 700, 680 °С, витримці при зазначених температурах 30 хв., охолодженні зі швидкістю 40 К/хв до фіксованої температури рідко-твердого стану 550 °С і скиданні краплі розплаву в водний розчин NaCl. Характер фазових перетворень, які відбуваються в інтервалі: температура ліквідусу – 550 °С, визначали по структурі «замороженої краплі».

Внаслідок суттєвого переохолодження, спричиненого перегрівом розплаву до 800 °С, при температурі 550 °С зафіксовано лише початковий етап кристалізації – виділення з рідини первинних дендритів твердого розчину алюмінію (Al_α). З пониженням температури розплаву до 750 °С ступінь його переохолодження зменшується, і при 550 °С, крім первинних кристалів Al_α, присутня евтектика, до складу якої входить Al_α та залізовмісна голкоподібна фаза β-$FeSiAl_5$ (β).

При охолодженні розплаву від 700 °С до перерахованих структурних складових додається потрійна евтектика β + Al_α + Si, а при перегріві сплаву до 680 °С і охолодженні його до температури 550 °С з’являється інтерметалід π-$FeMg_3Si_6Al_8$ (π) – продукт перитектичної реакції за участю фази β, яка утворилася на попередньому етапі кристалізації.

За даними рентгеноструктурних досліджень структурні перебудови в доевтектичних алюміній-кремнієвих розплавах в процесі їх нагрівання починаються при температурах близьких до 750 °С. Найбільш кардинальні структурні зміни відбуваються в діапазоні температур 800 ... 865 °С.

.Дослідження впливу температури на фазові перетворення при кристалізації показали, що при охолодженні сплаву АК9М2 від температур 680...740 °С основними структурними елементами є первинний твердий розчин алюмінію та продукти евтектичного розпаду ж $\rightarrow$ β + Al_α + Si. У той же час, при перегріві розплаву до температур 800...865 °С фаза β не утворюється, а з'являється фаза α-$(Fe,Mn,Cu)_3Si_2Al_{15}$ (α), що входить до складу потрійної евтектики α + Al_α + Si. З підвищенням концентрації Mg до 2,0 % здебільшого присутній не інтерметалід α, а фаза π. Порівняно з β-фазою вони мають більш сприятливу морфологію, що забезпечує підвищення міцності та пластичності у 1,3...1,5 рази. У виливках, отриманих охолодженням розплаву від температур 750...790 °С, зафіксовано змішаний тип структури, коли у сплаві присутні всі вище вказані фази.

"Критична" область температур (800...865 °С) відображає існування загальної

закономірності. У випадку, коли основною залізовмісною складовою є фаза α, як у сплаві АК12М2МгН, нагрів розплаву до 800...865 ^{o}С супроводжується не тільки зміною її морфології, але й механізму кристалізації.

Дотримання умов температурного режиму обробки в рідкому стані є необхідною, але недостатньою умовою для регулювання фазового складу виливка. При досягненні заданої температури зміни в процесі кристалізації, обумовлені перебудовою ближнього порядку атомів у розплаві, можуть відбутися лише після 30-хвилинного витримування в рідкому стані та швидкості охолодження не менше, ніж 80 К/хв.

Рентгеноструктурні дослідження свідчать, що поблизу температури кристалізації розплави складнолегованих силумінів тривалий час зберігають структурно-нерівноважний стан, обумовлений збереженням фаз передплавлення. За характером зміни структурних параметрів витримування сплаву в рідкому стані аналогічно підвищенню його температури. Мідь, магній, залізо збільшують ступінь мікронеоднорідності розплавів силумінів і час переходу в рівноважний стан. Вони утворюють сталі мікроугруповання атомів, що взаємодіють за типом інтерметалідних сполук і силіцидів. Цинк прискорює перехід системи в рівноважний стан, послаблюючи міжатомні зв'язки в мікроугрупованнях, що приводить до їх руйнування. Підвищення температури і часу витримки в рідкому стані посилює металізацію міжатомних зв’язків у Si, внаслідок чого підвищується ступінь розгалуженості фаз, що містять кремній – π, Mg_2Si, спостерігається перехід від конгломератної структури алюмінієво–кремнієвої евтектики до кооперативної.

УДК 669.2/. 8.017 : 537.3.39

А.Г. Пригунова

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

Тел./факс.: 0444241150, e-mail: adel_nayka@ukr.net

Г.М. Зелинская

Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, г. Киев

М.В. Кошелев

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

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА АК5М2, ОБРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

Рентгеноструктурными исследованиями (рис. 1) установлено, что сплав АК5М2 имеет следующий фазовый состав: Al_{α} (1), Si (2), θ-$CuAl_2$ (3), Mg_2Si (4), β-$FeSiAl_5$ (5), π-$FeMg_3Si_6Al_8$ (6).

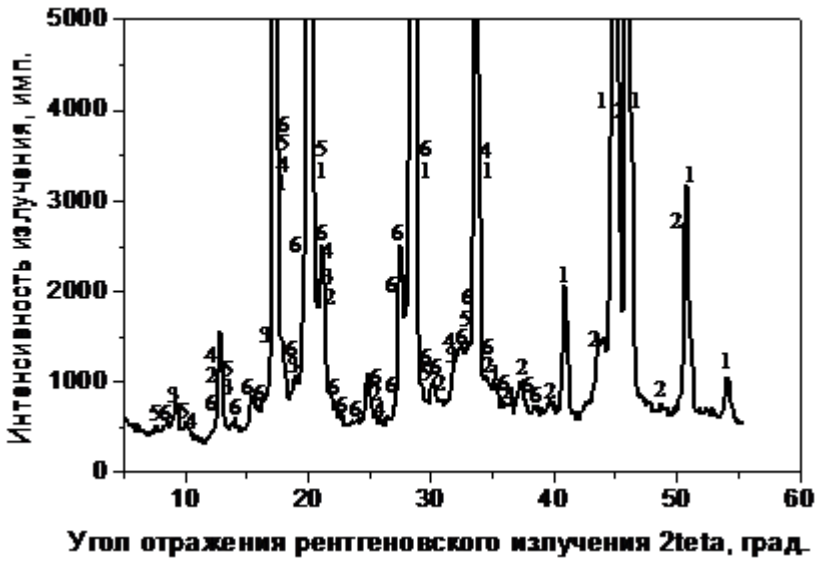


Рис. 1 – Дифрактограмма сплава АК5М2, полученная в Mo-K_{α} излучении

При обработке расплава импульсным электрическим током (рис. 2) вместо иглоподобного интерметаллида β образуется разветвленная фаза α-$(Fe,Mn,Cu)_3Si_2Al_{15}$ (α) (7), объемная доля которой растет с увеличением времени обработки с 6 с до 13 с (рис. 3). Единого мнения о природе фазы α нет. H. Phillips и G. Phragmen рассматривали ее как непрерывный ряд твердых растворов Mn в

соединении Fe_2SiAl_8. С позиций C. Sun и R. Kowatschewa α-фаза – это твердый раствор Fe в соединении $Mn_3Si_2Al_{15}$ с простой кубической решеткой. По полученным результатам (см. рис. 3) кристаллографическая структура образовавшейся α-фазы соответствует интерметаллиду Fe_2SiAl_8, что совпадает со взглядами H. Phillips, G. Phragmen.

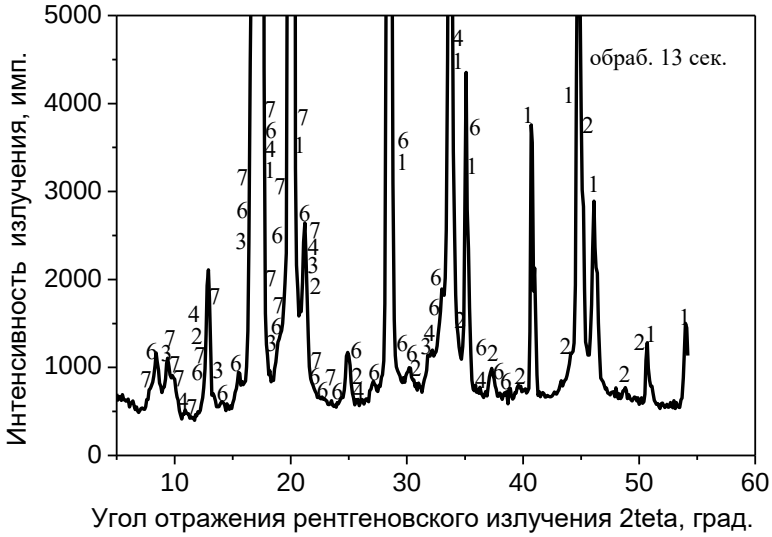


Рис. 2 – Дифрактограмма сплава АК5М2, обработанного в жидком состоянии однополярным импульсным электрическим током

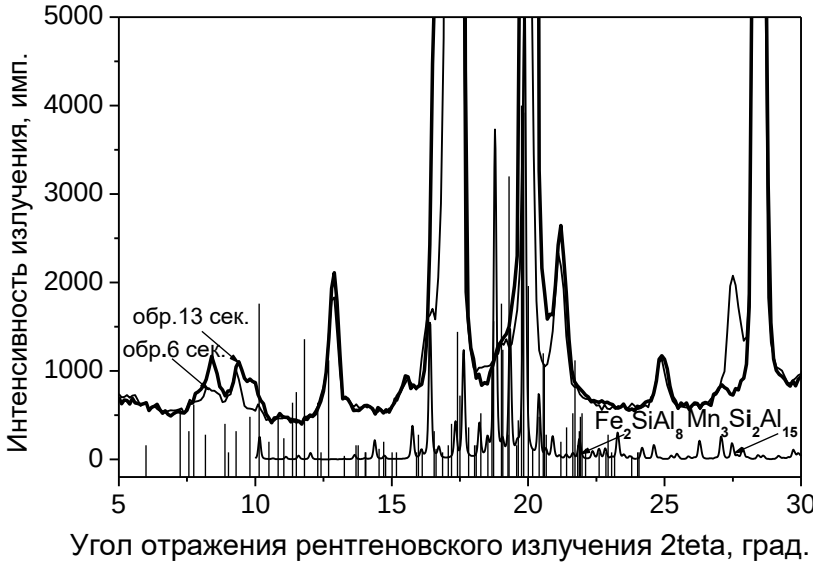


Рис. 3 – Сравнение дифрактограмм обработанного током сплава АК5М2 (Mo-K_α излучение) с дифрактограммой фазы $Mn_3Si_2Al_{15}$, а также с положением и интенсивностью отражений от фазы Fe_2SiAl_8 (вертикальные линии)

По рентгеноспектральным данным в сплаве АК5М2, обработанном током, фаза α имеет состав, мас. %: Fe – 20,05; Mn – 8,6; Cu – 2,47; Si – 9,01; Al – 60,03, а суммарное содержание Fe, Mn и Cu (31,12 %) практически соответствует содержанию Fe в соединении Fe_2SiAl_8 (31,6 %). С учетом выше изложенного, можно утверждать, что разветвленная фаза α, образовавшаяся после обработки расплава однополярным импульсным электрическим током, является твердым раствором Mn и Cu на основе интерметаллида Fe_2SiAl_8, в котором часть атомов Fe замещена атомами Mn и Cu.

УДК. 621.74

А. А. Радченко[1], О.И. Пономаренко[2], А.В. Сайчук[3]

[1]Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь», г. Харьков

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

[3]Харьковский Национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, г. Харьков

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Метод получения фасонных заготовок заливкой металла в формы до настоящего времени – наиболее простой и доступный, позволяющий изготовить отливку сложной конфигурации. В процессе производства литых деталей изготовители всё чаще сталкиваются с вопросами требуемого качества, себестоимостью отливок и уровнем специалистов, рабочих.

Потому необходимо отметить, что в современном литейном производстве наметилась тенденция, с технической и экономической точек зрения, на изменение структуры производств. Эти изменения заключаются в том, что на базе существующих предприятий осуществляются либо модернизация литейных цехов, использующих последние достижения технологии производства литых заготовок (плавка, формовка, финишные операции, улучшение экологии и.т.п.), либо исключение их из технологий заготовительного производства и передача

изготовления литья на аутсорсинг, т.е. другим компаниям которые специализируются в данном бизнесе.

В основе этих изменений, как правило, мероприятия направленные на решение вопросов связанных с возросшими требованиями к качеству и снижению затрат на производство отливок. При этом, специалисты литейщики столкнулись с ситуацией, когда практически прекращено функционирование отечественной прикладной науки в области литейного производства, прекратили существования НИИ, КБ, существенно сократилось количество специалистов и рабочих. Всё это ещё больше усугубилось состоянием литейного оборудования, которое морально и физически устарело.

Для содействия инновационному развитию литейного производства в Украине и ближнем зарубежье ведущими специалистами ВУЗов, Научно-технических центров (НТЦ) и предприятий Харьковского региона, объединённых в Ассоциацию Литейщиков Украины, проводится, на основе опыта работы успешных компаний и данных из технической литературы, мониторинг современных технологий получения литых заготовок и тенденций их дальнейшего совершенствования, результаты которого используются при модернизации производств и внедрении современных технологий, оборудования и приборов контроля качества материалов и изделий.

К примеру, инжиниринговая компания ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» имеет многолетний практический опыт реализации проектов, в т.ч совместно с ведущими зарубежными компаниями (Danieli. Primetals и др.) в области создания новых, реконструкции и модернизации действующих металлургических предприятий.

Одним из направлений деятельности НТЦ, является выполнение работ направленных на создание новых и модернизацию действующих литейных производств, начиная с совершенствования технологий производства, разработки основных технических решений (ОТР), технико-экономических обоснований (ТЭО), используя современные технологии изготовления отливок с применением холодно-твердеющих смесей (ХТС), литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), аддитивных технологий (3D принтеров) и др., одновременно решая вопросы экологии, энергосбережения и утилизации вторичных ресурсов. При этом высококвалифицированными специалистами Центра при выполнении работ активно используются для повышения эффективности литейного производства, следующие рекомендации:

- расширение использования применяемых материалов и современных технологий;

- рациональное использование материалов, в.т.ч. повышение выхода годного литья;

- использование безотходных технологий;

- применение компьютерных технологий;

- заинтересованность и привлекательность за счет полной автоматизации процессов;

- увеличение объёмов производства и производительности труда;

- выпуск продукции повышенной производственной готовности;

- использование оборудования, технологий и материалов известных ведущих фирм OMEGA, FAT и др.;

- повышение культуры производства.

Использование приведенных рекомендаций позволяет существенно повысить качество отливок и снизить затраты на их производство.

УДК 621.74

Русабров А. Е., Пономаренко О. И., Мариненко Д. В., Либерг И.Г.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

Харьков

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13Л

Вопрос об улучшении технико-экономических показателей получения износостойких сталей возник давно и остается актуален до сегодняшнего дня. Распространённым примером может служить – «сталь Гадфильда» (110Г13Л). Основное ее свойство заключается в способности к наклепу, благодаря которому детали, в процессе эксплуатации, получают высокую твердость и не обретают хрупкость. Наиболее часто ее применяют для дробящих установок, ковшей экскаватора на горнодобывающих предприятиях. Эти предприятия заинтересованы в получении деталей с максимальным ресурсом использования.

Целью работы является определение влияние легирующих добавок на стойкость зуба ковша карьерного экскаватора и получение оптимального химического состава стали для работы в заданных условиях.

Для проведения анализа и расчетов были выбраны легирующие добавки, способные повлиять на стойкость стали Гадфильда в условиях рудодобычи при работе на карьерных экскаваторах. В качестве основных легирующих элементов были выбраны молибден, ванадий, марганец, углерод и кремний.

В ходе исследований было определено влияние легирующих элементов на стойкость отливок в условиях работ с твердыми породами - соотношения углерода к марганцу и оптимальное количество кремния, влияние молибдена и ванадия на стойкость отливок, размера зерна и структуры металлической решетки. Проведены производственные испытания отливок.

По полученным данным построены: диаграммы, определен оптимальный химический состав стали Гадфильда, определены технико-экономические показатели модификаций стали.

УДК 621.742.22

Свинороев[1] Ю.А., Батышев[2] К.А., Деев[3] В.Б, Семенов[4] К.Г.

[1]Каменский технологический институт (филиал) Южно-российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Каменск - Шахтинский

[2]Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

[3]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва,

[4]Национальный исследовательский университет МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

БИОКОМПОЗИТНЫЕ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК

Проблема. Доминирование смоляных связующих материалов, на данном этапе развития литейного производства, объясняется их технологичностью, приближенной к идеальной, способностью реализовывать самые сложные формы и конфигурации форм и стержней и производить, таким образом, сколь угодно

сложные отливки. Примером этому являются отливки разнообразных элементов автомобильных, и не только, двигателей.

В то же время, применяемые смоляные связующие, Alphaset процесс, в производстве литейных форм, и Cold-Box Amin процесс, в производстве стержней, имеют высокую стоимость связующих (3,5-5,0 евро за кг.) и являются опасными в использовании. Согласно директиве еврокомиссии по вопросам экологии и охраны окружающей среды смолы на фенольной основе должны быть изъяты из производственных процессов в странах ЕС до 2020г., и заменены альтернативными материалами, не содержащими высокотоксичных канцерогенных веществ. В частности, в документе говорится, что содержание фурфурилового спирта в составе связующего не должно превышать 30%, при оптимальном его содержании, для обеспечения требуемой прочности, в 70-80%. Этот императив предопределяет поиск альтернативных решений.

Актуальна задача поиска альтернатив, причем, как для российских, так и для европейских литейщиков.

Цель работы. Рассмотреть возможность применения в качестве альтернативы, хотя бы в отдельном сегменте применения (мелкие и средние стержни для чугунного и алюминиевого литья) материалов на основе технического лигнина, на примере технических лигносульфонатов (ЛСТ).

Основные результаты работы.

Лигнинные материалы, можно рассматривать как типичный биокомпозитный материал. Применение подобного рода материалов, является набирающим силу направлением. Цитата из отчета Министерства энергетики США: *«…1,3 миллиарда тонн биомассы ежегодно доступно для промышленного использования в Соединенных Штатах. Это количество биомассы может потенциально произвести 130 миллиардов галлонов жидкого транспортного топлива (этанол, смешанные спирты, зеленый бензин, биодизель и зеленый дизель)….Значительные новые технологические разработки в этой области необходимы, чтобы максимизировать производство и захватить ресурсы. …одного и того же ресурса (технического лигнина) достаточно по размеру, чтобы поставлять практически все сырье, необходимое для химической промышленности США»*.

Технический лигнин может стать альтернативой для разработки новых связующих материалов. Его отличительные черты: доступность на рынке,

производство из возобновляемого сырья; низкая стоимость, не склонность к удорожанию; экологическая чистота.

Исследования и результаты, достигнутые в их итоге, позволяют говорить о том, что основные трудности могут быть преодолены.

Проблемы стабильности и повышения прочности свойств решаются подбором модификаторов, см. рис. 1, и рис. 2.

Рис. 1. Стабильность связующей способности композиций ЛСТ при проверке в течение календарного года: 1 – композиция ЛСТ – НПАВ, 2 – ЛСТ (без какой-либо обработки).

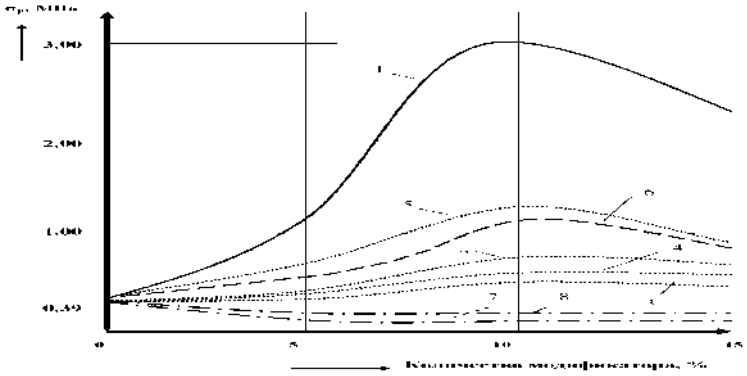


Рис. 2. Показатели действия веществ различных классов (кислоты, соли, щелочи) на связующую способность ЛСТ, кривые: 1. – неионогенные поверхностноактивные вещества (НПАВ); 2. - соляная кислота; 3.- серная кислота; 4.- азотная кислота; 5.- сульфоновая кислота; 6- сульфат аммония (12% водный раствор); 7- раствор едкого кали; 8 – раствор едкого натрия.

Выводы. Представленные материалы исследований показывают принципиальную возможность использования технических лигносульфонатов в

качестве исходного сырья для создания современных связующих материалов. Разработка требует адекватного технологического обеспечения для реализации лигнин-процессов.

УДК 621.742.22

Свинороев Ю.А.

Каменский технологический институт (филиал) Южно-российского государственного политехнического университета)НПИ) им. М.И. Платова, г. Каменск -Шахтинский

ЛИТЕЙНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ НА БИОПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Актуальность. В настоящее время, научные разработки, в области повышения эффективности производства литья, в части использования формовочных материалов, и непосредственно литейных связующих, посвящены совершенствованию уже имеющихся композиций, как правило, на смоляной основе. Такой подход технологически совершенствует производство, но не решет проблем экологии, безопасности труда, снижения себестоимости. Помимо этого, активно развивающиеся направления, к которым относятся технологии получения литых композиционных материалов, требуют адекватных технических решений, базирующихся на инновационных подходах, отвечающих современному уровню развития литейного производства и вызовам стоящим перед страной.

Альтернативные решения могут быть найдены за счет расширения использования продуктов, переработки растительного сырья. Активное вовлечение крупнотоннажных техногенных отходов отечественных производств в технологические цепочки создания инновационных технологий, к которым относятся производство литых композиционных материалов, является примером комплексного решения межотраслевых проблем России: импортозамешение, снижение вредных выбросов, создание новых литых композитных материалов и деталей на их основе, как пример продукции отечественного производства с высокой добавочной стоимостью. Весь перечисленный комплекс решений влечет создание новых рабочих мест.

Цель исследований. Исследования проводились с целью доведения связующей способности биополимерных 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.

Результаты исследования. Рассмотрим способы повышения связующей способности биополимерного связующего – технических лигносульфонатов (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 [5].

2) для облегчения и ускорения процессов структурообразования необходимо создать активные центры инициации полимеризационных процессов, что достигается обработкой ЛСТ на высокоэнергетических дезинтеграторных установках [6].

Это даёт возможность адаптировать получаемые связующие композиции к условиям различного производства и обеспечивает всевозможные требования различных технологических процессов литья.

Разработка реализована в технологии производства отливок «защитного кожуха». Задача состояла в замене массивной стальной детали сельскохазяйственного агрегата более легким, но прочным аналогом. Предложено использовать традиционные алюминиевые сплавы армированные стальным сердечником, что обеспечивает прочность и надежность конструкции детали соизмеримой по этим показателям со стальной деталью. В процессе реализации проекта возникла проблема, состоящая в регулярном образовании трещин или быстром разрушении детали в процессе эксплуатации. Трещины в отливке или разрушения в детали возникали в местах сочленения тонкостенных и толстостенных частей конструкции. Отливка изготавливалась по технологии литья в песчаные формы, непосредственно

форма по ПГС-процессу или альфасет-процессу,а стержни по амин –процессу или из ЖСС. Установили, что причиной дефектов являлась низкая податливость литейных стержней, для ее устранения был разработан состав смеси на основе модифицированных технических лигносульфонатов с повышенными прочностными свойствами[5]. Это позволило полностью устранить возникшую проблему. Указанный состав включал 2,8-3,8 массовых частей связующего, формовка осуществлялась вручную (опытное производство), отверждение производилось тремя способами: тепловой сушкой, продувкой горячим воздухом (120-160 ^{0}C), холодным отверждением. Последнее требует катализатора – отвердителя, в качестве которых выступают высокореакционные химические вещества, которые являются токсинами по своей природе. Следует особо отметить факт безопасности труда, и акцентировать внимание на том, что традиционно и массово использующийся в литейном производстве амин-процесс несет огромную потенциальную угрозу. Амины, использующиеся в нем в качестве катализаторов, поражают нервную систему, вызывают нарушения проницаемости стенок кровеносных сосудов и клеточных мембран, функций печени и развитие дистрофии, в отдельных случаях вызывают образование метгемоглобина, угнетающего центральную нервную систему. Действие веществ этой группы способно вызвать рак мочевого пузыря у человека. Не смотря на это, феномен амин-процесса, его массовое применение, основано на хорошо продуманном алгоритме осуществления процесса, реализованном в технологическом оборудовании. Процесс отработан и «одет в железо», по-видимому перспектива развития и широкого применения новых литейных связующих на биополимерной основе будет во многом определяться машинным оснащением процессов формообразования литейных форм и стержней.

Таким образом, применение литых композиционных материалов позволило произвести замену массивной стальной детали, ее аналогом, но на основе алюмиевого композиционного материала.

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), и являются адекватным инновационным техническим решением для производства литых композиционных материалов.

Разработка реализована для технологии изготовления стержней при производстве армированных отливок из алюминиевых сплавов имеющих сочленения тонких и массивных стенок, в узлах которых образовывались дефекты (газовые раковины и трещины), что обуславливало не возможность производства качественных отливок.

УДК 669.131.622:669.74

О.Д. Семенов

Національна металургійна академія України, Дніпро

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ СИМПЛЕКСУ Б.Б. ГУЛЯЄВА ДЛЯ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВИМІРІВ

Математичне моделювання процесів затвердіння допомагає технологу швидше прийняти правильне рішення і дозволяє на якісному рівні встановити розташування теплових вузлів, зони дії надливу і швидко розробити технологічний процес виготовлення модельного оснащення. Однак жодна комп'ютерна модель не обходиться без порівняння з результатами експериментальних температурних вимірів, а виявлені похибки виправляються за рахунок зміни значень основних теплофізичних коефіцієнтів матеріалів виливку, ливарної форми і усадкового зазору.

Проте експериментальні дослідження температур кристалізації сплавів у виливках за допомогою термопар, які суміщенні з виливанням розплаву через різний проміжок часу, можливо виконати лише для обмеженої кількості розмірів виливків. Це обумовлено значними трудовитратами по захисту гарячих спаїв термопар, точному встановленню їх у порожнині ливарної форми, а виливання розплаву через різний проміжок часу потребує декількох експериментів. Використання аналітичних методів розрахунку процесів твердіння по закону квадратного кореня, формулі М.І.Хворінова, що уточнює розрахунок коефіцієнту твердіння, інтегральним тепловим балансом по А.І. Вейнику обмежено низькою точністю результатів.

Б.Б. Гуляєв вперше показав, що рівняння для визначення коефіцієнту твердіння можна представити у вигляді залежності між безрозмірними величинами: відносною товщиною затверділого металу x/R і критерієм Фур'є (*Fo*), якій замінений

симплексом τ/R^2, адже значення температуропровідності для однакових ливарних матеріалів може бути введено у масштабі відповідних діаграм кінетики просування фронту твердіння – ізоліквідус, ізосолідус та границі виливання. Тому розроблену Б.Б.Гуляєвим методику успішно використовували для аналізу експериментальних вимірів температур і розрахунку процесів твердіння виливків М.І. Хворінов, В.В.Назаратін, П.Ф. Василевський, а у НМетАУ – В.Є. Хричиков.

УДК 532.7:542.65

Сергиенко[1,2], А. А. Щерецкий[1], А. М. Верховлюк[1], В. Ю. Задорожный[2,3]

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

[2]Национальныйисследовательскийтехнологическийуниверситет «МИСиС», Москва

[3]Erich Schmid Institute of Materials Science, Austrian Academy of Sciences, Leoben, 8700, Austria

Тел./факс.: (+380 44) 452-97-36, e-mail: ruslan@ptima.kiev.ua

ИССЛЕДОВАНИЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИОБЪЁМНОГОАМОРФНОГОСПЛАВА $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$МЕТОДОМДИНАМИЧЕСКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Внастоящее время объёмные металлические стекла привлекают повышенный интерес, чтооб условлено уникальными механическими свойствами аморфних сплавов – это высокая твердость, большое упругое удлинение, высокая в’язкість и высокая усталостная прочность, а также повышенная износостойкость и коррозионная стойкость [1, 2]. Наноструктурные материалы на основе циркония, полученные после термической обработки аморфних сплавов, когут бать перспективным кандидатом для имплантатов прилечении переломов костей [3]. Целью этой работы было исследование процесса перехода сплава $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ изаморфного в кристаллическое состояние с использованием динамического термомеханического анализа (ДМА). Метод ДМА использовали непопрямому его назначению – определение абсолютних значений упругих характеристик, а для исследования особенностей структурообразования в аморфном сплаве в процес се его термической обработки и нагрузки. ДМА исследования проводили методом одноплечевого изгиба на приборе DMA 242C фирмы NETZSCH при таких режимах: динамическая нагрузка – 5 Н, статическая нагрузка – 0,5 Н, коэффициент

пропорциональности – 1,5, максимальная амплітуда деформации – 50 мкм, частота приложения нагрузки 1 Гц, скорость нагрева – 2 К/мин. Врезультате динамического механического анализа измеряют комплексный динамический модуль сдвига $E = E^{I}+iE^{II}$, где E^{I} – модуль Юнга или модуль упругости – это упругая составляющая комплексного модуля сдвига, которая характеризує тупругие свойства материала, а E^{II} – динамический модуль потерь, который характеризует пластические свойства материала. В свою очередь из соотношения E^{II}/E^{I} определяют коэффициент механических потерь tan δ (или коэффициент внутреннего трения), который характеризует механическое демпфирование или внутреннее трени системы. Высокое значение tan δ характерно для материалов с большой долей пластической деформации. Все эти параметры (E^{I}, E^{II}, tan δ) связаны сподвижностью атомов в матери але и дают возможность исследовать особенности формирования структуры аморфних сплавов. Метод динамического механического анализа посравнению с дифференциальной сканирующей калориметрией является болем чувствительным к процессам, которые проте кают при термической обработке аморфного сплава. По характеру изменения модуля упругости E^{I} и коэффициента внутреннего трения tan δ можно судить об изменении упругих и пластических свойств материала при нагреве. Установлено, что при температурах ниже температуры стеклования T_g=661 K в матери але происходит структурная релаксация, что характеризуется незначительными зменением модуля упругости E^{I} и коэффициента внутреннего трения tan δ (рис. 1).

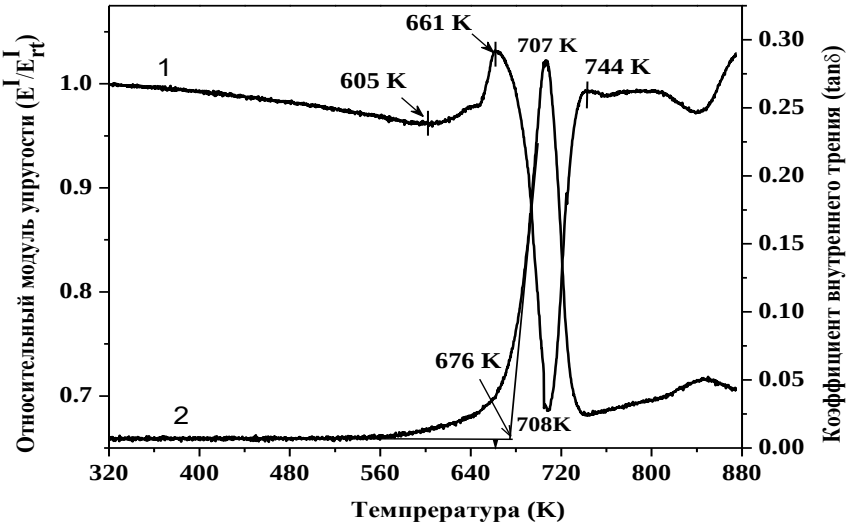


Рис. 1 – Температурная зависимость относительного модуля упругостиE^{I}/E^{I}_{rt}(1) и коэффициента внутреннего трениятan δ (2) во время нагрева. 1 – модуль упругости относительно комнатной температуры (rt); 2 - коэффициент внутреннего трения.

Наряду с этим, при температурах выше температуры стеклования, когда в сплаве $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ начинают происходить значительные структурные изменения и аморфный сплав $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ переходит в кристаллическое состояние выше температуры T_x=708 K, а параметры E^I, tan δрезкоизменяются(рис.1). При повторном нагребе образца в кристаллическом состоянии зависимость E^I, tan δ от температуры принагреве существенно отличается от исходного аморфного сплава.

Список литературы

1.*Inoue A.*High strength bulk amorphous alloys with low critical cooling rates (Overview) // Mater. Trans. JIM – 1995. – № 36(том 7). – P. 866-875.

*2.Inoue A., Wang X. M., Zhang W.*Developments and applications of bulk metallic glasses // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2008. – № 18. – P. 1-9.

3.*СоловьеваА. В., ЩерецкийА. А.*Приготовлениенаноструктурныхматериаловнаосновецирконияисзаданнымуровнемупругихсвойств // Процессылитья. – 2013. –№ 1(том 97). – С. 65.

УДК 621.745.5/435:669.35:621.365.52.029.45

В. О. Середенко, О. В. Середенко, О. А. Паренюк

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів

НАН України, м. Київ

ВИПЛАВКА МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ З ВИСОКОЮ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ В ІНДУКЦІЙНИХ ТИГЕЛЬНИХ ПЕЧАХ

Для плавлення чистих високопровідних металів або отримання сплавів на їх основі широко використовують індукційні тигельні печі (ІТП). Однак нагрів матеріалів з високою електропровідністю в індукційних установках відбувається не ефективно [1]. Це пояснюється малим коефіцієнтом поглинання електромагнітної хвилі, через невеликий питомий електроопір матеріалу, що приводить до незначного виділення тепла у шихті. Для плавлення металів з високою електропровідністю використовують ІТП з графітовим тиглем. Однак, у випадку коли товщина стінки графітового тиглю

більша за глибину проникнення електромагнітного поля (ЕМП) в графіт, відбувається екранування садки від впливу ЕМП. Внаслідок чого індукований струм зосереджується у стінці тиглю, садка прогрівається переважно за рахунок теплопередачі, при цьому силовий вплив ЕМП значно зменшується, ослаблюється перемішування розплаву, що є значним недоліком при отримані сплавів. Зокрема, в ІТП малої місткості, що використовуються в лабораторній практиці та мікрометалургійному виробництві використання графітового тиглю суттєво зменшує об'єм садки. Для підвищення ефективності процесу плавки в ІТП використовують графітові елементи, які розігріваються індукованими струмами. Наприклад відомий спосіб плавки з використанням графітового стрижня (діаметром 0,3-0,5 від внутрішнього діаметру тигля). Однак недоліком цього способу є розміщення нагрівача віддалено від краю індуктора у зоні зменшення напруження електромагнітного поля, що призводить до суттєвого зниження виділення теплової енергії у такому нагрівачі, а також зменшує корисний об'єм тиглю.

З метою встановлення раціонального способу плавлення та скорочення тривалості і зниження енергоємності процесу проведено серію експериментів на мідному сплаві з залізо-вуглецевою присадкою. Виплавка проводилась в ІТП з частотою 42 кГц, при масі садки 300 г. Всі експерименти проводили при однакових електричних навантаженнях на індуктор печі. Температуру визначали за допомогою термопари ТХА з потенціометром М4213 (погрішність вимірювання 5°С). Час виплавки визначався з моменту початку плавки за допомогою секундоміру СДСпр-1 (точність 0,1 секунди). Спочатку було проведено контрольний експеримент без графітового диску. Після 1,5 год його проведення мідь не розплавилась, що свідчило про неефективність такого способу плавки. При наступних експериментах у вогнетривкому тиглі індукційної печі розміщували графітовий диск, а на нього завантажували мідну шихту і вмикали піч. Після розплавлення початкової порції шихти порційно додавали шихту до отримання необхідної кількості рідкої міді. Температуру розплаву доводили до 1380°С і потім додавали 1% FeCrC (16-18 % Cr, 1,4 % C, інше Fe і домішки). Незначна кількість присадки не змінювала характер взаємодії мідного розплаву з графітовим нагрівачем (тобто матеріал диску не розчинявся у розплаві). Дані експериментів відображені в таблиці.

Таблиця – Дані експериментів

Номер експерименту	Співвідношення геометричних параметрів графітових нагрівачів (дисків) з розмірами тигля		Максимальна швидкість нагріву, °С/с	Час виплавки сплаву, хв
	Відносний діаметр	Відносна висота		
1	-	-	0,3	-
2	0,6	0,18	6,0	43
3	0,6	0,20	5,8	44
4	0,6	0,10	5,7	45
5	0,5	0,30	4,8	54
6	0,5	0,38	4,7	56
7	0,5	0,05	4,0	64
8	0,9	0,18	6,4	40

З урахуванням отриманих даних визначено параметри графітового диску, відносні від розмірів тиглю, які забезпечують максимальну ефективність роботи ІТП: діаметр 0,6-0,9 та висота 0,1-0,2.

Список літератури

1. *Цыганов, В. А.* Плавка цветных металлов в индукционных печах. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.

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

ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ В СПЛАВЕ АЛЮМИНИЯ С МЕДЬЮ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НАЛОЖЕНИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОХЛАЖДАЮЩИЙСЯ И ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ РАСПЛАВ

Свойства сплавов определяются их составом и формой структурных составляющих. Одним из направлений обеспечения уровня требуемых свойств сплавов на основе Al – Cu, является их легирование редкоземельными элементами

(РЗМ). Однако, в литых сплавах при 10 -15 % масс. РЗМ образуются крупные (более 100 мкм) кристаллы первичных интерметаллидов на базе соединения Al–РЗМ, имеющих гладкие грани и острые углы. Для устранения подобных недостатков структуры применяется более дорогостоящий метод - гранульная металлургия. Поэтому актуальным является разработка недорогого метода воздействия на форму интерметаллидов при обычных методах литья.

Известно, что форму фронта кристаллизации определяют элементы, образующие у его границы обогащённый ими слой толщиной порядка 0,1 – 10 мкм. Концентрация компонентов в данном слое определяет форму фронта кристаллизации – гладкую или ячеистую. Формирование ячеистой структуры сопровождается изменением концентрации компонентов в указанном слое и развитием выступов на поверхности фронта кристаллизации. При возрастании количества легирующих компонентов в объёме незатвердевшего металла перед фронтом кристаллизации в нём могут образовываться равноосные зёрна.

Одним из современных методов воздействия на литую структуру сплавов является постоянное магнитное поле, накладываемое на расплав при его охлаждении и затвердевании. Ряд данных свидетельствуют об изменении формы кристаллов в результате действия поля. В частности, при объёмном затвердевании сплава Al – Cu ровная поверхность эвтектических пластин α-твёрдого раствора Al изменялась на волнистую. В направленно кристаллизовавшихся сплавах Al – Cu удлинённые тонкие оси дендритов α-твёрдого раствора Al преобразовывались в короткие округлые. Слом верхушек дендритов α-твёрдого раствора Al происходил под действием электромагнитной силы, возникающей при взаимодействии термоэлектрического тока с внешним магнитным полем.

Целью работы было изучение влияния постоянного магнитного поля на форму интерметаллидов в сплаве на основе Al – Cu с РЗМ. Сплав готовился в печи электросопротивления. В жидкий сплав Al – Cu вводились РЗМ, после перемешивания металл выдерживался 10 мин при 820°С. Расплав заливался в форму, охлаждался со скоростью 10 ^{O}C/с без (контрольный сплав) и под воздействием постоянного магнитного поля с индукцией ~0,1 Тл. Сплав содержал, % масс.: Cu – 3,7; РЗМ – 13,0 (Ce – 7,5; La – 3,2; Nd – 1,6; Pr – 0,70); Mn – 0,35; Fe – 0,31; Ti – 0,13; Si – 0,11; Pb – 0,10; Zr < 0,10; Sn < 0,10. На микроанализаторе REMMA-102 было определено содержание компонентов в выделенных зонах интерметаллидов Al–РЗМ и основы сплава. Зона 1 - внутри включения Al–РЗМ на

расстоянии ~2 мкм от его границы. Зона 2 - граница интерметаллида и основы сплава. Зона 3 - в основе сплава на расстоянии порядка 10 мкм от границы интерметаллида.

Металлографически в структуре контрольного сплава выявлены интерметаллиды на основе Al–РЗМ с размерами до 200 мкм, имевшие гладкие поверхности, острые углы соединения граней и однородное окрашивание в сечении. В результате действия поля их часть (~ 50 %) преобразовалась во включения сложной формы, с ячеистой поверхностью и пронизывающими трещинами. У границы некоторых из них располагалась область мелких (~ 5 мкм) равноосных кристаллов. Остальная часть интерметаллидов была разрушена в магнитном поле на компактные конгломераты размерами 15 – 5 мкм и рассеяна в матрице. В исследованных зонах по сравнению с контрольным металлом действие поля привело к изменению среднего содержания компонентов. В зоне 1 наиболее характерным был рост количества Fe – в 2,4 раза и снижение Ti – в 4,3 раза. Наиболее существенно в зоне 2 повысилось количество Fe – в 6,0 и Cu в 1,3 раза, понизилось Pb – в 45,0, La – в 3,6 и Sn – в 3,0 раза. Металл в зоне 3 был существенно обогащён РЗМ - более, чем в 10 раз по сравнению с зоной 3 контрольного сплава. Вероятно, это было причиной возникновения в зоне 3 мелких включений. Под влиянием поля расширился диапазон концентраций компонентов в зонах 1 и 2 - (разницы между максимальным и минимальным содержанием в локальных микрозонах). В зоне 1 до 2,0 раз для РЗМ, Mn и Sn, а в зоне 2 диапазон концентраций РЗМ и Sn расширился в 2,0, Mn – в 3,0, а Cu и Fe – в 5,0 раз по сравнению с контрольным сплавом.

Таким образом, в сплаве Al – Cu с РЗМ, форма интерметаллидов на основе Al-РЗМ под действием магнитного поля модифицируется, в результате действия электромагнитной силы, возникающей при взаимодействии электротока, вызванного термоэлектрическим эффектом, с внешним магнитным полем. Эта сила создавала локальные течения расплава вблизи интерметаллидов, приводившие к перераспределению элементов между фазами сплава. В результате чего рост гладких граней интерметаллидов преобразовывался в ячеистый и возникала зона мелких включений у поверхности интерметаллидов. Локальные магнитогидродинамические течения расплава способствовали разрушению включений и рассеянию их фрагментов в объёме основы сплава.

УДК 678. 652: 66.022.32

О. В. Скрипник, В. В. Святський, С. В. Конончук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

ЗАСТОСУВАННЯ ЛЬОДОГАЗГІДРАТНИХ КАПСУЛ ДВООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СПІНЕНИХ ФІЛЬТРІВ

Продукція ливарного і металургійного виробництва, яка претендує на сучасний рівень якості, повинна мати високу міру очищення розплаву в процесі її виготовлення. Застосування спінених фільтрів при заливці піщаноглинистих форм дозволяє досягти необхідної міри чистоти металу і гарантувати якість литва. Разом з ефектом фільтрування спінені керамічні фільтри покращують рідинотекучість розплаву.

У практиці ливарного виробництва в останнє десятиліття зацікавленість до фільтраційного рафінування розплавів значно зросла. На підприємствах України, які виробляють литі деталі, спінені фільтрів застосовуються переважно при литті алюмінієвих сплавів. Це пов'язано з малими об'ємами виготовлення вітчизняних фільтрів, високою ціною зарубіжних аналогів. Проведений аналіз літературних даних показує, що для підвищення ефективності фільтраційного рафінування металевих розплавів необхідно дотримуватися наступних рекомендацій [1 – 3]: застосовувати дрібнопористі фільтри; збільшувати товщину фільтрів; матеріал фільтру повинен максимально змочуватися неметалічними включеннями, які знаходяться в розплаві, і мінімально самим розплавом; пористість, діаметр пор і гідравлічний ухил фільтра повинні забезпечувати фільтрування розплаву з максимальною швидкістю при дотриманні ламінарного режиму фільтрації; площа фільтру повинна гарантувати заповнення ливарної форми металом за оптимальний час.

Для фільтраційного очищення рідкого металу всередині форми можуть застосовуватися різні типи фільтрів: сітчасті скловолокнові; у вигляді керамічних пластин з наскрізними отворами (прямоточні); у вигляді зерен різних вогнетривких матеріалів, розташованих між двома керамічними пластинами (зернисті); із відкритими комірками.

Процес отримання теплоізоляційного фільтруючого матеріалу для спінених фільтрів можна розділити на дві стадії [4]: перша: отримання гранульованого напівфабрикату; друга: отримання блокового матеріалу. Спочатку готують з'єднувальний матеріал шляхом змішування рідкого скла з газоутворювачем, стабілізатором і отверджувачем. Потім з'єднувальний матеріал змішують з гранулами, формують блок і спінюють його в печі надвисокої частоти. В результаті відбувається спікання гранул між собою, простір між гранулами заповнюється вспіненим з'єднувальним матеріалом, таким чином отримують досить міцний і структурно однорідний теплоізоляційний матеріал. До недоліків технологічного процесу відносяться: періодичність дії теплового агрегату, велика кількість проміжних технологічних операцій, високі енергетичні витрати.

Авторами запропоновано на етапі приготування з'єднувального матеріалу в його склад вводити льодогазгідратні капсули двооксиду вуглецю [5, 6], що дасть можливість спростити технологію виготовлення пористого матеріалу шляхом скорочення кількості операцій, знизити собівартість кінцевого продукту за рахунок зменшення енергетичних і матеріальних витрат, підвищити ефективність теплопередачі від теплоносія до сировинної маси, продуктивність шляхом створення безперервної технології і збільшення швидкості формування та просування матеріалу в тепловому агрегаті, створити умови для повної автоматизації виробництва теплоізоляційного матеріалу на основі рідкого скла.

Список літератури

1. *Дубровин В.К.* Повышение качества отливок из жаропрочных сплавов путем фильтрационной очистки // Вестник ЮУрГУ. – 2008. – № 24. – С. 55-59.

2. *Тэн Э.Б.* Рафинирование металлических расплавов фильтрованием // Черная металлургия. – 1991. – № 3. – С. 63-65.

3. *Рымар Т.Э.* Вспененны материалы на основе жидкого стекла // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №14 (203). – С. 89-93.

4. Технология теплоизоляции. Материалы на основе вспученного жидкого стекла [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://msd.com.ua/texnologiya-teploizolyacii/materialy-na-osnove-vspuchennogo-zhidkogo-stekla/.

5. Скрипник А. В. Экспериментальная оценка процессов замораживания смеси ″H_2O + газовые гидраты CO_2″ / А. В. Скрипник, В. В. Клименко // Холодильна техніка і технологія. – 2007. – № 1 (105). – С. 87 – 89.

6. Скрипник А. В. Экспериментальное исследование плавления льдогазгидратных капсул / А. В. Скрипник, В. В. Клименко // Холодильна техніка і технологія. – 2010. – № 5 (127). – С. 54 – 57.

УДК 504.062

O. L. Skuibida

Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM FOR PRODUCTION ENTERPRISES

Today, Ukrainian metallurgical enterprises are faced with the problem not only to provide output of high quality, but also to ensure environmental safety and implement programs aimed to reduce the negative impact on the environment and decrease the amount of waste products within all applicable legal and regulatory requirements.

Management decisions should take into account environmental aspects and in general they can be based on the following principles:

• identification and assessment of environmental risks, setting objectives and work planning taking into account environmental risk management issues;

• compliance with environmental requirements and voluntary obligations in the field of environmental protection;

• establishment, measurement and assessment of environmental indicators;

• regulation of greenhouse gas emissions and their reduction;

• providing reliable access to renewable energy sources (for example, the use of hydroelectric power);

• creation of systems of closed circulating water supply for the main production processes;

• replacement of outdated gas cleaning equipment;

• modernization of the existing production cycle;

• using the best available technologies and methods for preventing pollution, minimizing the risks of environmental accidents and other factors of negative impact on the environment;

• increase the share of processing and use of wastes, safe storage and dislocation;

• organization of employees' trainings in environmental protection with the aim of forming an ecological culture and understanding of social responsibility, as well as the consequences for nature in case of their violation;

• taking into account the opinions and interests of stakeholders, setting environmental requirements for selection of contractors.

УДК 669.714

А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, Б. М. Немененок, А. И. Данилова

Белорусский национальный технический университет, Минск

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Современное автомобиле- и тракторостроение являются крупными потребителями литых заготовок из сплавов на основе железа. При этом непрерывно возрастает доля легированного чугунного литья для изделий ответственного назначения - гильзы цилиндров, поршневые кольца, корпуса двигателей внутреннего сгорания, детали тормозных систем.

В целях повышения эксплуатационных характеристик таких отливок широко используется легирование расплава хромом, никелем, медью, молибденом и ванадием. Учитывая высокую стоимость легирующих элементов, целесообразно задействовать отходы производства с данными элементами или их оксидами.

Основным источником ванадия в странах СНГ являются титано-магнетитовые руды Качканарского месторождения, содержащие около 16 % железа, 1,3-1,4 % оксида титана и около 0,12 % оксида ванадия. Извлечение ванадия из таких руд реализуется по сложной многооперационной технологии, с получением конечного продукта переработки в виде феррованадия. При этом образуются промежуточные продукты в виде ванадиевого чугуна, конвертерного шлака и металлоотсева

ванадиевого шлака. Как легирующий материал металлоотсев не имеет применения, хотя известны попытки его использования в вагранках.

Перспективность использования шлакометаллической фракции (ШМФ), содержащей ванадий, определяется целым рядом положительных факторов, основными из которых являются:

- утилизация отходов, содержащих до 2 % ванадия;

- магнитные свойства материала, позволяющие применять механизированную загрузку;

- более низкая стоимость в (1,5-2 раза) ванадия по сравнению с ферросплавами.

Химический анализ металлической фракции показал, что в ней содержится около 1,4 % C; 0,14 % Si; 0,1 % Mn; 0,03 % Cr; 0,04 % V; 0,03 % S и 0,035 % P. Шлаковая составляющая представлена (в %): 18,4 SiO_2; 2,18 Al_2O_3; 5,32 CaO; 5,32 MgO; 15,7 V_2O_5; 7,76 TiO_2; 2,14 Cr_2O_3; 5,32 MnO и 31,8 Fe (общ.).

Фракционный состав ШМФ характеризуется частицами металла и шлака с размерами в диапазоне 1,0-7,0 мм. При этом доля металла составляет 70 % и доля шлака - 30 %. В среднем в ШМФ содержится 2,5-3,0 % V.

Вторым перспективным источником ванадия являются шламы и отходы дробеочистки поверхности нагрева котлов тепловых электростанций. Такие станции являются крупными потребителями органического топлива - мазута. В копоти мазута содержится около 18 % V_2O_5, а также соединения меди, никеля, марганца и титана. Для борьбы с наслоениями копоти применяют водную обмывку и последующую дробеструйную очистку котлов. В продуктах обмывки котлов содержатся элементы, входящие в состав мазута, в том числе и ванадий.

После соответствующей нейтрализующей химической обработки ванадийсодержащий шлам собирается в отвалы. За последние годы эксплуатации тепловых электростанций скопилось значительное количество ванадиевого шлама и отходов дробеочистки котлов, требующих переработки и рационального использования.

Легирование такими отходами чугуна и стали возможно как через шлаковую фазу, так и за счет использования специальных брикетов. Это позволит рационально задействовать образующиеся отходы и снизить себестоимость получения легированных железоуглеродистых сплавов.

УДК 621.742.42

Л.И. Солоненко[1], С.И. Репях[2]

[1] Одесский национальный политехнический университет, Одесса;

[2] Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

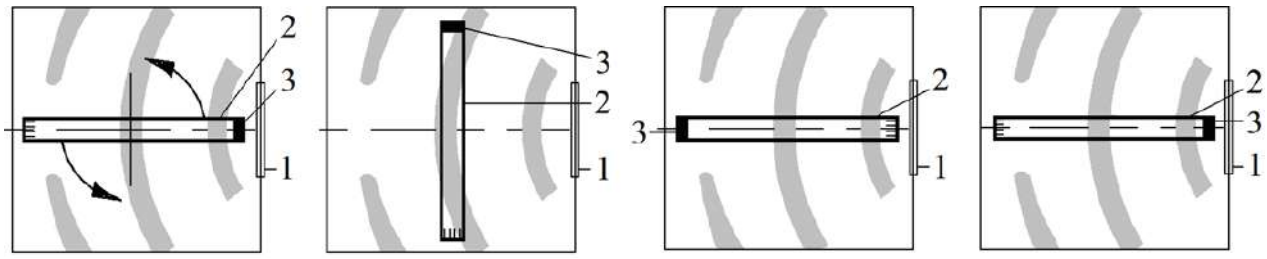
ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ В ПЕСКЕ, НАХОДЯЩЕМСЯ В ЁМКОСТИ ТРУБЧАТОГО ТИПА

В исследовании использовали кварцевый песок Вольногорского месторождения с преимущественной фракцией зёрен 0,16...0,20 мм (содержание глины менее 0,5%, по массе) и пресную воду. Массу определяли взвешиванием с точностью 0,1 г, время фиксировали с точностью 1 с. Обработку песка проводили в СВЧ-печи с мощностью магнетрона 700 Вт и частотой сверхвысокочастотного радиоизлучения 2450 кГц.

Распределение влаги в песке под действием СВЧ-излучения оценивали по результатам определения изменения влажности песка вдоль приспособления трубчатого типа. Для исследований сухой кварцевый песок засыпали и вибрационно уплотняли в приспособлении, которое представляло собой пластмассовую трубу из 10 спаренных между собой колец длиной 24 мм, водяной заряд (ВЗ) на одном торце и поролоновую пробку (венту) на противоположном торце, что схематично представлено на рис. 1.

Рис. 1 – Схема приспособления

Для исследований приспособление размещали в рабочем пространстве СВЧ-печи в соответствии со схемами, представленными на рис. 2.



а б в г

Рис. 2 – Расположение приспособления в СВЧ-печи (в плане) при вращении (а) и в статичном (б ... г) состоянии: 1 – волновод; 2 – поля максимумов СВЧ-излучения; 3 – водяной заряд

Во всех экспериментах масса песка в приспособлении составляла 230±1 г и воды в ВЗ – 1 г. Приспособления помещали в рабочее пространство СВЧ-печи и включали печь на полную мощность. По прошествии определённого времени приспособление извлекали из печи и по результатам взвешивания СВЧ-обработанного и сухого песка в каждом из колец рассчитывали содержание воды в песке на каждом участке приспособления. Результаты расчётов представлены на рис. 3 и рис. 4.

Рис. 3 – Распределение воды в песке приспособления, вращающегося в течение 1, 2, 3 и 4 минут в СВЧ-печи

Рис. 4 – Распределение воды в песке неподвижного приспособления после 3-х минут его обработки СВЧ-излучением в положении, соответствующем схеме “б” (1), схеме “в” (2) и схеме “г” (3) на рис.2

Из анализа полученных результатов следует, что:

1 – кинетика перемещения влаги в песке под действием СВЧ излучения носит волновой характер;

2 – в статичном состоянии расположение приспособления вдоль распространения волн обработка СВЧ в течение 3-х минут практически не изменяет влажность песка на расстоянии более 24 мм от ВЗ, то есть эти схемы воздействия не эффективны в части управления перемещением пара по капиллярным каналам кварцевого песка;

3 – после 3-х минут обработки наиболее равномерное распределение влаги в песке вдоль приспособления обеспечивает статичное положение приспособления, ось которого располагается поперёк направления распространения волн СВЧ-излучения;

4 – вращение приспособления при СВЧ излучении даже к 4-ой минуте обработки не обеспечивает равномерности влаги в песке и приводит к накоплению влаги в центре и на торцах приспособления;

5 – выдержка приспособления в СВЧ поле в течение 3-х минут практически не изменяет содержание в нём воды (во всех случаях до обработки СВЧ излучением было воды 0,44%, после обработки 0,39…0,40%, по массе), но меняет характер её распределения вдоль приспособления.

УДК 621.742.4

Л.И. Солоненко[1], С.И. Репях[2]

[1] Одесский национальный политехнический университет, Одесса;

[2] Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

ХРУПКОСТЬ СТРУКТУРИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

Хрупкость – один из показателей технологичности структурированных смесей для литейных форм и стержней. Высокая хрупкость структурированной смеси повышает опасность её разрушения при протяжке модели, сборке формы, спаривании полуформ, динамическом воздействии на неё струи расплава и т.п.

По мнению авторов хрупкость любой структурированной смеси целесообразно оценивать относительной величиной стрелы прогиба (ε/l, где ε – стрела прогиба образца балочного типа, *l* – расстояние между опорами на которые опирается образец) образца балочного типа в момент его разрушения под действием внешней нагрузки (P). При этом для проведения испытаний предлагается использовать известную трёхточечную схему нагружения образца, схематично представленную на рис. 1.

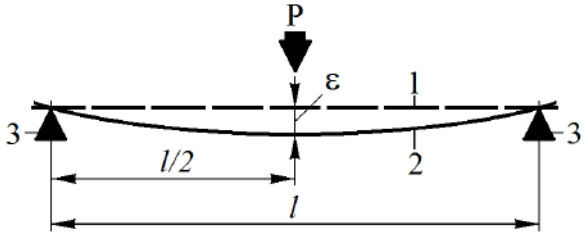


Рис. 1 – Схема прогиба балки: 1 – вид балки (образца) до испытаний; 2 – вид балки в момент разрушения; 3 – опора образца

Для относительно малых прогибов балки, если величина модуля упругости (E) и момент инерции (I) постоянны вдоль оси 0-x, форму балки описывают линейным дифференциальным уравнением 4-го порядка (дифференциальным уравнением Эйлера-Бернулли) [1]:

$$E \cdot l \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} = P. \quad (1)$$

Любой вариант решения уравнения Эйлера-Бернулли (1) приводит к зависимости стрелы прогиба от расстояния между опорами балки (*l*), а также параметрами, входящими в формулу (2). То есть формула (1) не учитывает особенности строения структурированных смесей, где размеры и объём пор соизмеримы с размерами и объёмом балки.

Для определения закономерностей влияния основных параметров структурированной смеси на предельно-допустимую стрелу прогиба образца балочного типа использовали метод анализа размерностей. В числе переменных предполагаемой зависимости: К – газопроницаемость образца (характеристика структуры отверждённой смеси), м^4/(кг·с); Ос – осыпаемость (характеристика поверхностной прочности материала стержня или формы), кг/(м^2·с); ρ – кажущаяся плотность отверждённой смеси (характеристика состава и структуры отверждённой смеси), кг/м^3; *l* – расстояние между опорами на которые опирается горизонтально расположенный образец балочного типа (характеристика геометрических размеров образца смеси), м.

В результате расчётов получена следующая формула:

$$\varepsilon = z_\varepsilon \cdot l \cdot p^2 \cdot \frac{K}{Oc}, \quad (2)$$

где z_ε – безразмерный поправочный коэффициент.

Если правую и левую часть формулы (2) разделить на расстояние между опорами (*l*), то получим формулу для расчёта относительной предельно-допустимой величины стрелы прогиба:

$$\Delta_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{l} = z_\varepsilon^* \cdot \rho^2 \cdot \frac{K}{Oc}, \quad (3)$$

где z_ε^* – безразмерный поправочный коэффициент.

Из анализа формулы (4) следует, что относительная предельно допустимая стрела прогиба бруса возрастает (уменьшается хрупкость) с увеличением кажущейся плотности и газопроницаемости материала балки и с уменьшением его осыпаемости.

Список литературы

1. Прикладная механика деформируемого твёрдого тела: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1983. – 349 с.

УДК 621. 74: 389. 6

В.О. Стригун, Н.М. Волошин, С.В. Гнилоскуренко, Л.С. Чаплигіна

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Тел.: (*+38044) 424-12-50, e-mail:* standartftims@gmail.com

СТАНДАРТИЗАЦІЯ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Прискорення економічного розвитку України потребує усунення технічних бар'єрів у торгівлі, підтримки розвитку і міжнародної конкурентоспроможності продукції, зокрема таких стратегічних галузей як металургія та ливарне виробництво. Ці положення відображені в Законі України «Про стандартизацію» [1], який забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері стандартизації і створення передумов наближення національної системи стандартизації до міжнародних і європейських норм та правил.

Україна впроваджує звід Європейських стандартів (EN) як національних стандартів та гармонізує європейські стандарти в систему національної стандартизації. Разом з тим, постановою Кабінету Міністрів України [2] в Україні поступово скасовуються міждержавні стандарти (ГОСТ), розроблені до 1992 року. Наразі тисячі стандартів скасовуються щорічно, а у 2020 році взагалі буде припинено дію всіх, згаданих вище. Щоб це не призвело до різкого спаду виробництва, зупинки підприємств, зокрема, ливарної галузі, за причини не відповідності якості литва, необхідні рішучі дії щодо оновлення стандартів.

Технічний комітет стандартизації 177 «Ливарне виробництво» (ТК 177), створений у 2016 році на базі ФТІМС НАН України, активно веде дослідження та роботи щодо розробки державних стандартів України (ДСТУ) в галузі ливарного

виробництва [3,4] та розширює свою діяльність. Так, до його складу у 2018 році введено новий підкомітет ПК 5 «Метали чорні вторинні» на базі Української асоціації вторинних металів.

У результаті аналізу існуючих стандартів встановлено, що основними дотепер були міждержавні стандарти (ГОСТ), які відрізняються від європейських; далеко не на всі матеріали та технологічні процеси, які використовуються в ливарному виробництві України, існують європейські стандарти.

Тому ТК 177 наразі розробляє найбільш необхідні національні стандарти на основі ГОСТів, зокрема створюючи таблиці відповідності марок виливків за їх хімічним складом та механічними властивостями європейським показникам.

У ході дослідження положень міждержавних та європейських стандартів на марки сталей та чавунів, проведено порівняльний аналіз їх марок за хімічним складом, механічними властивостями в залежності від способів оброблення. У результаті розроблені перевідні таблиці маркування сталей та чавунів національних і європейських стандартів.

Проведені роботи дозволили розробити наступні проекти національних стандартів:

- Виливки зі сталі. Загальні технічні умови (надано чинності за номером ДСТУ 8781:2018).

- Виливки з сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови (надано чинності за номером ДСТУ 8833:2019).

- Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями. Загальні технічні умови (проводиться експертиза Національним органом стандартизації).

- Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови (розроблено першу редакцію проекту нового стандарту та розміщено на сайті ФТІМС НАН України).

У 2019 році плануються до розробки наступні проекти державних стандартів:

- «Виливки із чавуну та сталі. Терміни та визначення дефектів» зі скасуванням ГОСТ 19200-80;
- «Виливки. Номенклатура показників» зі скасуванням ГОСТ 4.439-86;
- «Виливки із металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку» зі скасуванням ГОСТ 26645-85;
- «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови» зі скасуванням ДСТУ 4121-2002.

Розробка та випуск зазначених національних стандартів сприятиме впровадженню передових технологій лиття для забезпечення потреб вітчизняних та закордонних споживачів, а також підвищення ступеня відповідності продукції функціональному призначенню.

Необхідно також зазначити, що виконання надважливих завдань зі стандартизації у ливарному виробництві, особливо на сучасному етапі, направлено на забезпечення виживання галузі та потребує широкого залучення підприємств як до часткового фінансування таких робіт, так і до активного рецензування проектів стандартів.

Список літератури

1. Про стандартизацію: Закон України від 05.06.2014 р.№1315-VIII/ Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 31, ст.1058.

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 09. 12. 2014р. № 695 «Про затвердження Програми діяльності Кабінету Міністрів».

3. *В. О. Стригун, Н. М. Волошин, С.В. Гнилоскуренко.* Дослідження з питань стандартизації в діяльності ТК 177 «ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО». Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія». 2018: – Запоріжжя, ЗТПП-ФТІМС, С. 187-189.

4. *В. А. Стрыгун, Л.С.Чаплыгина.* Разработка национального стандарта Украины на стальные отливки. Металл и литье Украины. 2017.- № 8-10 - С. 84-86.

УДК 621.746.047:62-418

Н.И. Тарасевич, А.В. Ноговицын, И.В. Корниец

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

Тел.: (044) 424-34-50; E-mail: ivk@ptima.kiev.ua

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТОНКОЙ ПОЛОСЫ В ВАЛКОВОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

В современном производстве для получения алюминиевой полосы широко применяется двухвалковая разливка. Для автомобилестроения, авиации и космической техники наибольший интерес представляют высокопрочные сплавы систем Al-Cu-Mg-Zn. Однако технология получения полос из указанных материалов

способом валковой разливки до сих пор не разработана, что связано с высоким, более 100 °С, интервалом кристаллизации этих сплавов.

Экспериментально установлено, что для формирования качественной полосы из высокопрочных сплавов металл после выхода из валков должен быть полностью затвердевшим, но не подвергаться существенной деформации.

Методами математического и компьютерного моделирования проведен анализ влияния скоростных режимов валковой разливки на условия формирования полосы из высокопрочных алюминиевых сплавов (АД35, АМг5, Д16, В95) толщиной 2 мм и 3 мм. При температуре перегрева расплава 5 °С скорость разливки изменяли в диапазоне 0,3 – 1,4 м/с.

Проведенные исследования позволили выявить три состояния металла в межвалковом пространстве в зависимости от скорости разливки:

- металл затвердевает в межвалковом пространстве на различной высоте:

$$(v < v_1); \quad (1)$$

- на выходе из валков толщина твердой корочки соответствует толщине полосы:

$$(v=v_1); \quad (2)$$

- на выходе из валков металл находится в двухфазном состоянии:

$$(v > v_1); \quad (3)$$

где v – текущая скорость разливки; v_1 – скорость разливки, обеспечивающая полное затвердевание металла на выходе из валков.

С точки зрения получения полосы без дальнейшей прокатки вариант (2) наиболее оптимален.

В результате проведения вычислительного эксперимента для каждого из сплавов были установлены: скорость вращения валкового кристаллизатора, которая обеспечивает полное затвердевание металла на выходе из валков, градиент температур по толщине полосы и другие параметры разливки.

УДК:621.78.062:621.791.725

Тимошенко, В.П. Лихошва, О.А. Пеликан

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

Тел. 044-424-32-30, e-mail: Marschal@i.ua,

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛИЧЕСКИХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ И ХИМИКОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В технологиях лазерной наплавке, микролегирования, «RapidPrototyping»и других подобных процессах лазерной модификации поверхности очень важно иметь представление об изменении температур частиц при различных интенсивностях нагрева в зависимости от физических и термодинамических параметров материала частицы, скорости движения и условий обработки.В литейно-лазерном процессе получения композиционного материала существует необходимость введения частиц в расплав в защитной атмосфере.В качестве защитной атмосферы применяются инертные газы, такие как аргон, гелий и др.. Однако эти газы являются дорогостоящими для постоянного использования. Создать защитную атмосферу можно посредством реакции горения газов «воздух-пропан».Использование этих газов для формирования газопорошкового потока и инициализации химико-термической обработки позволит выделить тепловую энергию и создать дополнительный нагрев как обрабатываемой поверхности расплава, так и самих частиц. При этом продукты реакции горения – CO и CO_2создают защитную атмосферу в процессе лазерной обработки поверхности расплава.

С целью повышения эффективности обработки частиц лазерным излучением разработана конструкция сопла с дополнительным обжимающим потоком газа для процессов лазерной обработки частиц и поверхности расплава мишени.

Проведено имитационное моделирование газодинамических, физико-химических и тепловых процессов, протекающих в зоне лазерной обработки частиц в первом случае при использовании инертного газа (аргона) в качестве создания защитной атмосферы,аво втором –горючего газа (пропана) для дополнительного нагрева частиц.

Сопряженную математическую модель газодинамического и теплового состояния расчетной среды формулировали на основе пакета прикладных программ

ANSYS, *CFX* и *Thermal*. Моделирование характеристик турбулентности произведено с применением *k-ε* модели в её стандартной реализации.

В результате численного моделирования полученатемпература нагрева частиц из стали, карбида вольфрама и карбида кремния для диаметра частиц: 150 мм, 315 мми 500 мм.

Установлено, что при лазерной обработке частиц карбида вольфрама вследствие, высокой теплопроводности материала неравномерность нагрева на ее поверхности и в объеме – наименьшая по сравнению с другими частицами.Частицы карбида кремния имеют более низкую теплопроводность, поэтому неравномерность их нагрева – наибольшая,однако вследствие невысокой плотности температура поверхности частицы более высокая. При обработке стальных частицв газолазерном потоке их температура наименьшая, при этом неравномерность нагрева частиц выше, чем у частиц карбида вольфрама, но ниже частиц карбида кремния.

Полученные результаты моделирования распределения температуры частиц по поверхности и в объеме сопоставлены для лазерной и химикотермическойобработки. Установлено, чтоиспользованиехимикотермическойобработкиповышает эффективность воздействия лазерного излученияпри нагревевыбранных в работе частици создает эффективную защитную атмосферу области лазерной обработки.

УДК:621.791.725

Тимошенко, В.П. Лихошва, М.І. Голубчик

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

Тел. 044-424-32-30, e-mail:Marschal@i.ua,

ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІДНОСНО ПЕРЕТЯЖКИ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАЗЕРНОГО НАГРІВУ ЧАСТИНОК

Важливим аспектом приотримання дискретно армованих композиційних матеріалівгібридним ливарно-лазерним методом є взаємодія лазерного випромінювання і газопорошкового потоку, позиціонування фокуса лазерного

випромінювання щодо перетяжки газопорошкового потоку, дослідження гідро- та газодинамічних процесів.

Для вивчення даних процесів вибрано дві газолазерніфурми, які відрізняються умовами лазерної обробки частинок (на виході із фурми або в самій фурмі).

На основі результатів імітаційного моделювання гідро- та газодинамічних процесів отримано залежності зміни швидкості газового потоку на різній відстані від зрізу сопла фурми, траєкторія руху частинок в фурмі та на виході з неї та ін.

Встановлено, що використання фурми з обробкою частинок лазерним випромінюваннямна виходізабезпечує вихровий рух газопорошковаго потоку, якийутворюєшироку газовукаверну невеликої глибини від 10 до 14 мм в залежності від тиску газового потоку. Із результатів імітаційного моделювання видно, що розсіювання частинок відбувається по всій поверхні каверни. Визначено, що нагрів частинок необхідно проводити в перетяжці газопорошкового потоку в дофокусній або зафокусній області лазерного випромінювання, що забезпечує найбільш ефективну обробку газопорошкового потоку. Такий вид конструкції фурми рекомендується для співвідношення густини частинок і розплаву більш 1, зокрема, для частинок, які схильні до процесів коагуляції або коалісценсії в розплаві.

Досліджено, що для конструкції фурми з обробкою частинок в середині внутрішніх каналів,утворюється стислий газопорошковий потік, який формує більш глибоку газову каверну в розплаві. Зазначена конструкція дозволяє збільшити відстань від зрізу сопла до поверхні розплаву і підвищити час нагрівання частинки в газолазерному потоці. Найбільш ефективна обробка частинок лазерним випромінюванням як і в попередньому випадку, також досягається в перетяжці газопорошкового потоку в зафокусній області лазерного випромінювання, що дозволяє обробляти не тільки частинки, але і зону розплаву, на яку подаються ці частинки. Таку конструкцію фурми рекомендовано для частинок з густиною, сумісної або нижче густини розплаву. Для даної фурми тривалість обробки частинок лазерним випромінюванням досить значна, що забезпечує можливість обробки тугоплавких частинок.

УДК 669.715:621.746

Г. В. Трегубенко, **В.Т. Калінін**

Національна металургійна академія України, Дніпро

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОВИДІЛЕННЯ ВОДНЮ ПРИ ФОРМУВАННІ ВИЛИВОК З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

В результаті виплавки і розливання алюміній взаємодіє з різними газами, що є причиною утворення ряду дефектів. Основними з яких є газова пористість і неметалеві включення. Гази, екстраговані з алюмінію, складаються переважно з водню. Основним його джерелом є атомарний водень, що утворюється при дисоціації водяної пари. Газова пористість значно погіршує механічні та експлуатаційні властивості алюмінію і його сплавів. Тому мінімізація кількості газових пір і їх розмірів при виробництві конструкційних алюмінієвих ливарних сплавів є дуже важливим і актуальним завданням.

Виникнення газової пористості в алюмінієвих виливках пояснюється різкою зміною розчинності водню при переході алюмінію з рідкого стану в твердий. Тому водень в алюмінієвих сплавах завжди вважався шкідливою домішкою і способам видалення водню з алюмінієвих розплавів присвячена велика кількість робіт як в Україні, так і за її межами. Поряд з цим, починаючи з середини XX століття, почали з'являтися публікації, в яких відзначалися ті чи інші аспекти позитивного впливу водню на процес формування виливків з алюмінієвих сплавів. Було відзначено, що спливання бульбашок водню при кристалізації сприяє очищенню розплаву від неметалевих включень. Потім почали з'являтися повідомлення, що в деяких випадках газові міхури не погіршують, а навпаки, дозволяють поліпшити механічні та експлуатаційні властивості алюмінієвих сплавів. Підтвердженням цьому стало відкриття нового класу литих пористих сплавів - газарів (газом армований матеріал). Вони мають міцність і пластичність, які набагато перевершують властивості раніше відомих пористих матеріалів.

Таким чином, газовиділення водню при кристалізації алюмінію та його сплавів може як негативно, так і позитивно впливати на процес формування виливків [1]. Так для конструкційних алюмінієвих ливарних сплавів наявність газової пористості різко погіршує їх механічні та експлуатаційні властивості і навіть призводить до браку, тому для її повного або часткового запобігання необхідне проведення ряду

технологічних заходів. Для газарів, навпаки, виділення бульбашок водню при певних умовах формує виливки з необхідною пористою структурою і унікальними фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками. Тому для забезпечення оптимальної структури виливків з алюмінію і його сплавів необхідно знати які чинники і як впливають на процес газовиділення водню.

В результаті проведених досліджень отримані вирази, що дозволяють досить просто визначати вплив різних технологічних і фізико-хімічних параметрів процесу виробництва виливків з алюмінію і його сплавів (швидкості кристалізації, початкового вмісту водню в розплаві, ступеня пересичення твердого розчину, величини зовнішнього тиску газової фази і ін.) на початок і інтенсивність протікання газовиділення при затвердінні металу.

Визначено, що для більш пізнього виділення водню в газові бульбашки при затвердінні алюмінію і його сплавів необхідно підвищувати ступінь пересичення твердого металу воднем (збільшуючи зовнішній тиск газової фази і швидкість кристалізації, вводячи гідрідоутворюючі елементи і т.п.), зменшувати початковій вміст водню в розплаві (проводячи дегазацію тим чи іншим способом), підвищувати щільність і поверхневий натяг розплаву, збільшувати роботу утворення зародка газового міхура (застосовуючи фільтрацію). Встановлено, що для зниження інтенсивності виділення водню в газові бульбашки при затвердінні алюмінію і його сплавів необхідно зменшувати швидкість кристалізації і ступінь пересичення розплаву воднем.

Застосування на практиці отриманих виразів дозволяє:

- при виробництві конструкційних алюмінієвих ливарних сплавів оптимізувати технологічний процес з метою мінімізації кількості газових пір і їх розмірів, а також отримання закритої газової пористості навіть після проведення термо- або механічної обробки;

- при отриманні литих пористих алюмінієвих сплавів (газарів) активно управляти процесом газовиділення водню при кристалізації і отримувати виливки з необхідною газової пористістю.

Список літератури

1. Котляровский, Ф.М. О двойственной роли водорода в процессах формирования отливок из алюминиевых сплавов [Текст] / Ф.М. Котляровский, Г.П.

Борисов // 50 лет в Академии наук Украины: ИЛП, ИПЛ, ФТИМС – Киев: ФТИМС НАН Украины, 2008. – С.423-461.

УДК 669.187.28

Л. В. Трибушевский, Б. М. Немененок, Г. А. Румянцева, А. П. Бежок, М. А. Кулик

Белорусский национальный технический университет, г.Минск

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПЛАВКЕ ОКИСЛЕННЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ

На полноту извлечения алюминия из его окисленных отходов большое влияние оказывает засоренность материалов и состояние их поверхности. Так, для мелкой стружки, степень загрязненности колеблется от 14,0 до 28,0 %, а у шлаков и сливов данный показатель находится в диапазоне 28,0-50,0 %, поэтому при плавке съемов с содержанием 50 % металла удается извлечь только половину алюминия.

Для выбора оптимального варианта переплава окисленных отходов алюминиевых сплавов в короткопламенной роторной печи (КПРП) исследовали зависимость металлургического выхода от степени окисленности шихты при добавке флюса, содержащего 50 % NaCl; 42 % KCl и 8 % Na_3AlF_6 в количестве 8 % от массы металлозавалки. Степень окисленности шихты варьировали добавками алюминиевого лома, крупной и мелкой стружки, шлаков и сливов.

На первом этапе исследований шихту загружали в печь вместе с флюсом, добавка которого составляла 50 % от расчетного количества. В процессе нагрева и расплавления шихты скорость вращения печи составляла 0,3-1,0 об/мин. После расплавления металла и флюса присаживали оставшуюся часть флюса, а скорость вращения печи увеличивали до 5,1 об/мин для лучшего разделения расплава и шлака. Общая длительность плавки составляла 82-85 минут. Полученный металлический расплав с температурой 760-780 ^{0}C сливали в ковш и, после продувки азотом, разливали в чушки на разливочном конвейере. Шлак из наклоненной печи удаляли в контейнер скребками. Результаты опытных плавок показали, что с увеличением окисленности шихты с 2,0 до 50 % металлургический выход в среднем снижается с 93 % до 52 %. При этом количество образующегося шлака увеличивается с 107 кг до 390 кг. Анализ химического состава образующегося

шлака показал, что содержание в нем корольков алюминия, находится в пределах 7,5-9,2 %, что делает его дальнейший переплав нерентабельным. Учитывая, что такой шлак относится к отходам IV класса опасности, он подлежит захоронению на специальных полигонах с уплатой соответствующего экологического налога.

Дальнейшие исследования, с использованием покровного и жидкого флюсов, привели к получению результатов, близких к первой серии опытных плавок. Поэтому было принято решение об исключении флюса из состава шихты при плавке окисленных отходов алюминия. Предполагалось, что разрушение оксидной пленки на частицах алюминиевых сплавов в процессе плавки будет происходить механическим путем при вращении печи.

Для оценки распределения материалов по ходу плавки в КПРП проводили 16 балансовых плавок с взвешиванием всех компонентов шихты и полученных продуктов в виде расплава, вторичного шлака и пыли, осевшей в циклоне. Металлозавалка каждой плавки состояла из 250 кг роллет, 200 кг пробки, 60-70 кг мелкого алюминиевого лома из алюминиевых радиаторов и конденсаторов, и 70 кг просева шлака, содержащего 22-25 % Al; 33-37 % Al_2O_3; 6-8 % SiO_2; 4-6 % MgO; 1-3 % Fe_2O_3; 25-30 % (NaCl+KCl). Общая масса шихты составляла 580-590 кг. Перед проведением балансовых плавок циклон полностью очищался от пыли, а после окончания серии балансовых плавок вся собравшаяся в циклоне пыль извлекалась и взвешивалась. Общая масса пыли по итогам 16 плавок составляла 496 кг или в среднем 31 кг на плавку. При таком варианте плавки в составе пыли преобладают оксиды алюминия различных форм с общей концентрацией около 75 %, шпинели, содержащие в своем составе оксиды алюминия (12 %), и 12 % чистого алюминия. Следует отметить, что на долю хлорсодержащих соединений приходится только 1,4 %, что в 2,5 и 30 раз ниже по содержанию хлоридов, по сравнению с плавкой с 8 % покровного флюса и 40 % жидкого флюса соответственно. Большие объемы образующейся пыли связаны с особенностями конструкции КПРП, характеризующейся прямоточным движением горячих газов с высокой скоростью в рабочем пространстве печи. Это и обуславливает существенные потери шихты с развитой поверхностью во время плавки. Металлургический выход в среднем составил около 60 % при доле образующихся отходов - 40 %. Анализ образовавшегося шлака и пыли показал незначительное содержание в них хлористых соединений, что позволяет их полностью использовать в составе алюминиевых раскислительных смесей (АРС) при внепечной обработке стали. Это

позволило предложить безотходную бесфлюсовую технологию переработки окисленных отходов алюминия, при которой доля используемых продуктов превышает 95 %.

УДК 669.187.28

Л. В. Трибушевский, Б. М. Немененок, Г. А. Румянцева

Белорусский национальный технический университет, Минск

ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ ШЛАКОВ - ПУТЬ К ПОЛУЧЕНИЮ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЛИТЕЙНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Существующие технологии переплава алюминиевой стружки и шлаков, как правило, предусматривают использование значительного количества покровных и рафинирующих флюсов при плавке, что приводит к повышению металлургического выхода металлического расплава и образованию вторичных шлаков, требующих дальнейшей переработки или захоронения.

Для исследования были выбраны отходы переработки вторичного алюминия (ОПВА), складированные на открытой площадке НПФ «Металлон». С целью отделения корольков алюминия ОПВА подвергали просеиванию через сито с квадратными отверстиями со стороной 5,6 мм и диагональю отверстия около 8 мм. Из полученного отсева с разных горизонтов отбирали пробы для развернутого химического анализа, который проводили в испытательном центре ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси. Усредненные результаты анализа показали, что в отсеве содержится 80,4 % Al_2O_3 и 19,6 % примесей, в число которых входят 4,1 % SiO_2; 5,8 % Fe_2O_3; 2,5 % CuO; 1,9 % MgO; 1,4 % ZnO; по 0,8 CaO и Na_2O; 0,6 % хлора; по 0,3 % K_2O; TiO_2; NiO; PbO; 0,2 % MnO. При этом 78-80 % отсева относится к фракции 0-3 мм. Для дальнейшего исследования этой фракции ее подвергали вихревой сепарации с использованием ленточного конвейера с многополюсным магнитным ротором. При вращении многополосной магнитной системы в металлических частицах индуцировались вихревые токи, которые, в свою очередь, создавали магнитное поле противоположное по направлению роторной магнитной системе. В результате взаимодействия магнитных полей металлические

частицы, содержащиеся в отсеве шлака, выбрасывались из движущегося потока и отделялись от неэлектропроводящей фракции.

Отсев алюминиевых шлаков с данным фракционным составом может быть использован для производства разжижителей рафинировочных шлаков при внепечной обработке сталей вместо экологически опасного плавикового шпата. Для удобства ввода разжижителей их можно получать в виде окатышей или брикетов с содержанием Al_2O_3 от 50 до 80 %. Составы разжижителей шлака, полученные на основе ОПВА, используемые в Польше и Чехии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы разжижителей шлака на основе ОПВА

Материал	Массовая доля компонентов, %						Потеря массы при сушке, %
	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	Cr_2O_3	Na_2O+K_2O	
ACM 75	70-80	1-3	13-17	2-3	-	1-2	2-5
ACM 65	60-70	6-11	3-8	2-3	-	1-2	10-12
ACM 55	50-60	10-15	4-9	2-3	-	1-2	14-17
ACMC 65-5	60-70	5-9	3-8	2-3	4-6	2-3	7-10
ACMC 65-3	60-70	6-9	3-7	2-3	2-3	2-3	8-11
ACMC 55-5	50-60	8-13	4-9	2-3	2-3	1-2	12-15

Таким образом, глубокая переработка алюминиевых шлаков позволяет в полной мере реализовать безотходную технологию их переплава, с получением новых экологически безопасных продуктов, востребованных литейно-металлургическим производством.

УДК 669.187.2

Л. В. Трибушевский

Белорусский национальный технический университет, Минск

ГРАНУЛИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ ПО «СУХОЙ» ТЕХНОЛОГИИ

Гранулированный алюминий широко используется для раскисления стали.

При этом литую алюминиевую дробь диаметром 1,6-6 мм получают при сливе расплава через сито-дозатор в воду. Применение литой алюминиевой дроби

позволяет существенно повысить реакционную поверхность раскислителя, так как данный показатель для алюминиевых гранул в 80-90 раз выше, чем у чушкового алюминия и составляет 1,6-8 $м^2$/кг против 0,02 $м^2$/кг.

Однако такая технология получения алюминиевой дроби требует ее обязательной сушки и существует опасность насыщения расплава водородом. Кроме того, при температуре сушки гранул 200 °С происходит их дополнительное окисление.

Сотрудниками кафедры «Металлургия черных и цветных сплавов» БНТУ, совместно с работниками ООО «НПФ «Металлон», реализована «сухая» технология производства алюминиевых гранул из отходов деформируемых алюминиевых сплавов и стружки. Для этих целей использовали установку, состоящую из вращающегося круглого водоохлаждаемого стола, чугунного металлоприемника для жидкого алюминиевого сплава, ударного механизма для образования капель металла за счет прерывания струи металла и системы удаления полученных гранул со стола. Расплав алюминия из короткопламенной роторной печи подавали в металлоприемник, в нижней части которого находились специальные отверстия для вытекания жидкого металла. Образование капель, то есть обрыв струи расплава, происходил за счет ударного механизма. В зависимости от интенсивности его работы изменяли размеры получаемых гранул в диапазоне 5-10 мм. Гранулы из капель расплава формировались на поверхности вращаемого водоохлаждаемого стола. Удаление готовых гранул производили направленным потоком сжатого воздуха, что исключало необходимость их последующей сушки.

Алюминиевые гранулы, облитые по «сухой» технологии из отходов алюминия, имели несколько большие размеры по сравнению с алюминиевой дробью, полученной охлаждением капель расплава в воде, но не превышали в диаметре 10 мм. По химическому составу гранулы соответствовали алюминию марок АВ-87 и АВ-97. Суммарное содержание алюминия и магния в АВ-97 составляло 97,3% при требованиях ГОСТ 295-98 не менее 97 %, а для АВ-87 их содержание составляло 93,3 % при требуемом - не менее 87 %.

Опытная партия гранул АВ-87 с размерами до 10 мм в объеме 20 т была использована на ОАО «Белорусский металлургический завод - управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» при обработке стали для раскисления металла и предварительного его легирования алюминием (до обработки на вакууматоре «RH») взамен алюминиевой катанки. Присадка опытного

материала осуществлялась через систему бункеров. Испытания показали, что использование алюминия АВ-87 в гранулах до 10 мм при внепечной обработке стали способствует глубокому раскислению системы «шлак-металл», следствием чего является повышение усвоения легирующих элементов (соответственно снижается расход ферросплавов) и степени десульфурации стали. Интенсивное раскисление системы «шлак-металл» в начальный период внепечной обработки позволяет в более короткие сроки провести необходимую десульфурацию расплава и способствует сокращению общей длительности внепечной обработки стали.

При обработке сталей S355J2, Fe360-1, C45E-3 и Ст1сп усвоение кремния повысилось на 5,3-12,5 % по сравнению с базовой технологией. По усвоению марганца разница между опытными и сравнительными плавками составила от -3,45 % до 2,1 %.

Преимуществом гранулированного алюминия, по отношению к другим материалам из АВ-87, является сравнительно низкая, необходимая для расплавления гранулы, аккумулируемая теплота и достаточно высокая площадь поверхности взаимодействия, что и обеспечивает быстрое раскисление системы «шлак-металл».

Использование АВ-87 в гранулах до 10 мм через систему высотных бункеров позволяет автоматически фиксировать расход и время отдачи материала, исключить применение ручного труда, повысить контроль за соблюдением технологии и расходом вторичного алюминия.

Применение гранулированного алюминия АВ-97 при внепечной обработке стали на установке вакуумной дегазации «RH» позволило сократить средний удельный расход алюминийсодержащих материалов в опытных плавках до 0,75 кг/т годного металла против 0,82 кг/т по стандартной технологии.

УДК 621.74

[1]Фесенко А.Н.,[2] Фесенко М. А., [1]Корсун В.А.

[1]Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

[2]Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ ЧУГУНА В ОТЛИВКАХ

Для получения чугунных отливок с высокими показателями механических и эксплуатационных свойств одной из важнейших технологических операций является модифицирующая обработка расплава.

В настоящее время разработаны и находят практическое применение множество модифицирующих добавок и способов их ввода в расплав чугуна.

Современное развитие процессов модифицирования чугуна характеризуется тенденцией перехода от печных или ковшевых к более эффективным, экологичным и экономичным методам позднего (внековшевого) модифицирования расплава. Среди известных способов модифицирования заслуживает внимания метод обработки жидкого чугуна модификаторами или лигатурами непосредственно в литейной форме - «Инмолд-процесс».

В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию графитизирующих, карбидостабилизирующих и сфероидизирующих модифицирующих добавок для обработки в литейной форме расплава определенного химического состава на усвоение им основных элементов, структуру и твердость чугуна в отливках.

В качестве объекта в экспериментальных исследованиях использовались отливки типа «Клин» длиной 100 мм, высотой 100 мм и толщиной у основания 20 мм. Экспериментальные отливки получали в разовой литейной форме, изготовленной из песчано-глинистой формовочной смеси. Чтобы исключить влияние других факторов, кроме исследуемых, шесть однотипных отливок размещались в одной общей литейной форме и заливались через общие стояк, шлакоуловитель и отдельные (автономные) для каждой отливки соединительные каналы, проточные реакционные камеры и питатели. Для исследования влияния состава исходного жидкого расплава выбраны чугуны с содержанием углерода С=2,6…2,8% и С=3,2…3,4%,

выплавляемые в индукционной тигельной печи типа ИЧТ-0,016 на шихтовых материалах, состоящих из литейного чугуна марки Л4 и стального лома стали 30. Заливку литейной формы осуществляли ручным разливочным ковшом конического типа. Температура заливки металла в литейную форму составляла (1450…1480) ± 10 °С.

Для исследования использовали распространенные графитизирующие, карбидостабилизирующие и сфероидизирующие модифицирующие добавки. В качестве графитизирующих модифицирующих добавок использовали ферросилиций марки ФС75 и силикобарий марки СБ20, в качестве карбидостабилизирующих добавок применяли ферробор марки ФБ12, никель-магниевую лигатуру NiMg19, ферро-цериевую добавку МЦ50Ж6 и карбид вольфрама WC. В качестве сфероидизирующих добавок использовали ферросилиций-магниевые модификаторы ФСМг7 и VL63M.

После охлаждения отливки разбивали на две приблизительно равные части для получения изломов. Одна часть использовалась для исследования излома и изготовления образцов для изучения макро- и микроструктуры, вторая – для определения химического состава и твердости образцов. Содержание углерода и серы в чугуне проб определяли на анализаторе CS-230, содержание остальных элементов - на оптическом спектрометре Spectrolab.

Характер макроструктуры оценивали по излому, микроструктура образцов изучалась на нетравленых микрошлифах, а также микрошлифах после их химического травления 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Твердость измеряли на приборе Бринелля при нагрузке прибора 30 000Н, D = 10 мм, выдержка под нагрузкой 10 сек.

Как показали результаты проведенных исследований в полученных из исходного расплава чугуна отливках на большей части образовался серый излом, величина отбела по клину составила 8-12 мм. Микроструктура чугуна в зоне серого излома характеризуется наличием пластинчатого графита в феррито-перлитной металлической матрице с твердостью 190....220 НВ. В тонкой части клина в зоне отбела в структуре просматриваются контуры дендритов первичного аустенита, между которыми расположена ледебуритная эвтектика.

Внутриформенная обработка расплавов FeSi и SiBa, как и следовало ожидать, способствовала полному устранению отбела в клинах. По всему сечению клина, включая тонкую часть, сформировалась структура характерная для серого чугуна с

выделением пластинчатого графита в феррито-перлитной металлической матрице. Твердость на половине высоты клиновой пробы после модифицирования расплава этими графитизирующими добавками находится на уровне твердости исходного чугуна – 180...190 НВ.

Достаточно эффективное действие показало модифицирование сфероидизирующими модификаторами типа ФСМг7 и VL63, которые обеспечили формирование серебристого излома клиновой пробы и образование феррито-перлитной металлической основы с включениями графита шаровидной формы, характерных для структуры высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Твердость чугуна в центре клиновой пробы составила на уровне 180-185 НВ при обработке модификатором ФСМг7 и 198-205 НВ при использовании модификатора VL63M.

Наиболее эффективными карбидостабилизирующими модификаторами, способствующими формированию светло-кристаллического излома и структуры белого чугуна в клиновой пробе оказались добавки МЦ50Ж6 и NiMg19. При этом твердость чугуна существенно повысилась и вцентре клиновой пробы находится на уровне 406…410 НВ после модифицирования лигатурой NiMg19 и около 436…440 НВ после модифицирования ферроцерием МЦ50Ж6.

Достаточно неожиданные результаты, которые требуют проведения дальнейших исследований и более детального анализа, получены нами при экспериментальных исследованиях процессов внутриформенного модифицирования расплава чугуна ферробором FeB и карбидом вольфрама WC.

Как известно из литературных источников FeB используют для получения белого чугуна, чаще всего для повышения твердости и износостойкости за счет формирования карбидных фаз. В то же время по результатам наших экспериментальных исследований внутриформенное модифицирование добавкой FeB не способствовало формированию белого излома клиновой пробы, а излом остался серым, как и в пробах из немодифицированного чугуна. При этом твердость чугуна находится на уровне – 178-180 НВ, хотя в микроструктуре обнаруживаются включения карбидов и ледебуритной эвтектики.

Также весьма неожиданные результаты получены нами и при внутриформенной обработке расплава чугуна карбидом вольфрама WC. При использовании этого материала для внутриформенного модифицирования расплава даже при его вводе в расплав в количестве 10% от массы проходящего через

проточную реакционную камеру с модификатором чугуна излом клиновидной пробы получился серым, а твердость клина повысилась лишь незначительно по сравнению с исходным чугуном и находится на уровне 217…220 НВ.

УДК 621.74

[1]Фесенко М. А., [2]Фесенко А.Н., [1]Могилатенко В.Г.

[1]Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев

[2]Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК «НОЖ» ИЗ ОДНОГО БАЗОВОГО РАСПЛАВА МЕТОДОМ ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ

В различных отраслях промышленности детали типа «Нож» используются для разрезания резины, бумаги, кожи, ткани, пластика, пород и других материалов. С учетом условий эксплуатации рабочая режущая часть такой детали должна иметь структуру и свойства твердого износостойкого, а монтажная часть – вязкого (пластичного) материала.

В качестве износостойкого материала возможно использовать белый чугун с карбидами железа и других элементов в структуре, а в качестве вязкой основы – высокопрочный чугун с шаровидным графитом феррито-перлитного класса.

В работе представлены результаты исследований по отработке новой технологии изготовления двухслойных чугунных деталей «Нож» с дифференцированными структурой и свойствами в отдельных частях методом литья в песчаные формы из одного базового расплава с использованием технологии внутриформенного модифицирования. Сущность предлагаемой технологии заключается в выплавке в одной печи базового расплава серого чугуна и последовательной заливке его с определенной временной выдержкой в полость литейной формы через две независимые литниковые системы, каждая из которых содержит проточную реакционную камеру с размещенными в ней различными по функциональному назначению и воздействию на расплав зернистыми модифицирующими добавками. В реакционной камере первой литниковой системы

базовый расплав чугуна подвергается внутриформенной карбидостабилизирующей обработке, после чего поступает в нижнюю часть отливки, где впоследствии формируется часть из износостойкого белого чугуна. В реакционной камере второй литниковой системы поток базового расплава подвергается сфероидизирующему модифицированию, после чего направляется в верхнюю часть отливки для получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Реакционные камеры цилиндрической геометрической формы, в которых размещаются модифицирующие добавки, выполнены в виде пенополистироловой оболочки толщиной 2-3 мм, диаметром и высотой 60 мм. В качестве карбидостабилизирующего реагента, размещенного в реакционной камере первой литниковой системы, использовался высокоуглеродистый феррохром ФХ900, в качестве сфероидизирующей добавки, расположенной в реакционной камере второй литниковой системы – ферросилиций-магниевый модификатор ФСМг7. Количество модификаторов составляло 2% от массы пропускаемого через реакционную камеру жидкого металла.

Исходный расплав серого чугуна выплавляли в индукционной тигельной электропечи типа ИСТ-006 с кислой футеровкой. Сухие песчано – глинистые формы заливали расплавом при температуре 1500±10^{o}С сначала калиброванным на 5…6 кг ковшом через первую литниковую систему, а затем доливали после определенной временной выдержки тем же расплавом через вторую литниковую систему при температуре 1450±10^{o}С.

В условиях проведенных экспериментов установлено, что формирование двухслойных литых деталей достигается при временной выдержке между заливками порций расплава 30…120 с. При этом в нижней части отливки чугун кристаллизуется с белым изломом. В структуре данного слоя просматриваются контуры дендритов первичного аустенита, между которыми расположена ледебуритная эвтектика. Верхние слои отливки кристаллизуются со светло-серым изломом, характерным для высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, с преимущественно перлитной металлической основой. Твердость поверхностей отливок из белого чугуна составляет 380…420 НВ, из высокопрочного чугуна 220…260 НВ.

Между верхней и нижней частью отливки формируется переходная зона из половинчатого чугуна, структура которого состоит из включений графита вермикулярной и шаровидной формы, цементита в перлитной металлической матрице. Прочность такой зоны составляет 360…400 МПа.

Новая технология изготовления отливок «Нож» предлагается для внедрения на предприятиях литейной и машиностроительной отраслей и может быть реализована на существующем оборудовании без установки дополнительного нового оборудования или использования специальных сложных приспособлений или устройстви без дополнительных экономических затрат.

УДК 669.131.622:669.74

В.Є. Хричиков, А.С. Лактіонов

Національна металургійна академія України, Дніпро

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБІГРІВУ НА РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУР ПО ВИСОТІ НАДЛИВУ І ВЕРХНЬОЇ ШИЙКИ В ЧАВУННИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКАХ

Технологія електрошлакового обігріву надливів чавунних прокатних валків впроваджена на Дніпропетровському і Лутугинському (ЛЗПВ) заводах прокатних валків. Її особливість полягає у тому, що легкоплавкий флюс вводять у воронку на струмінь розплаву, що заливають у воронку, і по сифонній ливниковій системі з тангенційним живильником попадає у нижню шийку валка. За рахунок температури перегріву чавуну флюс розплавляється і спливає через нижню шийку, бочку і верхню шийку у надлив, так що одночасно відбувається рафінування чавуну від неметалевих вкраплень. Така технологія відрізняється від процесів ЕШП, в яких у спеціальних печах здійснюють попереднє розплавлення флюсів, в основному, окисно-сольових систем CaF_2-Al_2O_3-CaO типу АНФ-6 з високою температурою плавлення. У діючих вальцеливарних цехах через обмеженість виробничих площ і технологічної трудомісткості ці методи складно реалізувати. Тому для наведення рідкої шлакової ванни використовують флюси АН-1 і АН-60 системи SiO_2 - MnO - CaO з температурою плавлення ≈1100^{0}C.

Для вивчення впливу електрошлакового обігріву на розподіл температур по висоті надливу і верхньої шийки в чавунних прокатних валках використали математичну модель, що розроблена в НМетАУ і адаптована відповідно до експериментальних даних температурних вимірів. Вихідні дані і сіткову область для розрахунку затвердіння і охолодження циліндричних виливків в комбінованих кокільно-піщаних ливарних формах приймали згідно еталону, який був розроблений

раніше, а корегували тривалість і потужність обігріву дзеркала металу надливу валка масою 2200 кг. Результати розрахунку оцінювали по глибині виливків на 763 мм від рівня металу у надливі. Встановлено вплив щільності теплового потоку при електрошлаковому обігріву на розподіл температур по висоті надливу і верхньої шийки в чавунних прокатних валках, що дозволило обґрунтувати зменшення тривалості обігріву надливу.

УДК 621.74:669.131.7.001.57

К. И. Чубин, С. А. Стороженко, О.А. Чубина

Днепровский государственный технический университет, Камянское

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА В 150-КГ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Производство высокопрочного чугуна с шаровидным графитом [1] связано с определенными трудностями, возникающими при вводе магния в жидкий чугун и сопровождающимися брызгообразованием, выбросами металла из ковша, значительным дымовыделением и, в конечном счете, нестабильностью механических, пластических свойств получаемого чугуна и невысокой степенью усвоения магния.

Наиболее высокая степень усвоения магния, при значительном снижении его удельного расхода, в сравнении с различными методами ввода чушкового магния, применения автоклавов герметизированных ковшей, магнийсодержащих лигатур, может быть получена при вдувании диспергированного (гранулированного, фрезерованного) магния в расплав через фурму с испарителем, открытым с торца [2]. Однако, при таком варианте, обработка носит бурный, слабо управляемый характер, со значительным дымообразованием и догоранием паров неусвоенного магния над поверхностью ванны.

Независимо от способа обработки магнием при снижении концентрации серы в расплаве менее 0,010% происходит увеличение содержания магния в чугуне, с получением требуемого содержания остаточного магния. На основе проведенных высокотемпературных экспериментов показаны возможность управления процессом обработки, с обеспечением спокойного характера последней с использованием

фурмы с цилиндрическим закрытым испарителем с теплопередающей графитовой стенкой, которая снабжена 32 цилиндрическими соплами, расположенными в два ряда под углом 90° к вертикальной оси фурмы, а также 4 соплами под углом 45°, позволяет предотвратить непосредственное взаимодействие диспергированного магния с чугуном и обеспечить перевод магния в парообразное состояние за счет передаваемого через стенку тепла чугуна и регулируемое вдувание в объем последнего соответствующего количества струй газовой смеси. При таком способе ввода существует возможность предотвращения взрывообразного перехода твердого магния в парообразное состояние.

Для отработки технологии получения чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ) при мелкосерийном производстве отливок была использована лабораторная установка комплексной обработки чугуна.В поставленном техническом задании предусматривалось:обеспечить рекомендуемый химический состав ЧШГ (по ГОСТ 7293-85) марок ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45 при толщине стенки отливки ≤ 50мм; достичь в процессе рафинирования и модифицирования литейного чугуна содержание серы и фосфора ниже 0,01 % и 0,05 % соответственно; максимально снизить расход магния на рафинирование и сфероидизирующую обработку жидкого чугуна.

При проведении плавок были использованы следующие шихтовые материалы: литейный коксовый чушковый чугун марки ЛЧ (ГОСТ 4832 – 80), содержащий в среднем 3,95 % C, 2,22 % Si, 0,65 % Mn, 0,058 % P и 0,045 % S; подготовленный по размерам стальной лом Ст 3сп среднего химического состава: 0,17 % C, 0,25 % Si, 0,58 % Mn, 0,038 % P и 0,046 % S; ферросилиций ФС 65 (ГОСТ 1415-78) химического состава: 65,1 % Si, 0,05 % P и 0,02 % S; фрезерованный диспергированный магний марки МГП-99 фракции 0,67 – 1,00 мм; свежеприготовленная порошкообразная известь (фракция < 0,015 мм) известково-обжигательного отделения ОАО «ДМКД» среднего химического состава: 89,21 % CaO, 4,56 % MgO, 1,05 % SiO_2, 0,003 % S и 5,53 % п.п.п.; свежеприготовленный порошкообразный плавиковый шпат (фракция < 0,015 мм) ФК-85 (ГОСТ 29220-91), содержащий 86,32 % CaF_2, 8,75 % SiO_2, 0,25 % P и 0,29 % S.

В результате проведенных экспериментов освоена в лабораторном масштабетехнология рафинирования и модифицирования литейного чугуна в 150 – кг индукционной печи путем предварительной десульфурации расплава вдуванием порошкообразной извести с заключительной обработкой струями смеси парообразного магния и нейтрального газа, истекающими из погружного испарителя

с теплопередающей стенкой, с целью получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Список литературы

1. Леках С.Н. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении / С.Н. Леках, Н.И. Бестужев. - Минск: Навукаітехніка., 1992. - 270с.

2. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием / Воронова Н.А. – М.: Металлургия, 1980. - 240с.

УДК 621.746.6:621.7.04

Шалевська, О. Й. Шинський, Т. В. Шевчук, С. В. Коломійцев

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Тел. +380506191601 (моб.),E-mail: into66@ukr.net

БЛОК-СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ЛИВАРНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ

Якість виливків при виготовленні методом лиття за моделями, що газифікується, залежить від багатьох факторів технологічного процесу кожного переділу. При цьому для отримання чіткої конфігурації виливка виготовляється пінополістиролова модель, основні параметри якої впливають при заливанні металу на тепломасообмінні процеси у формі, кількість утворення продуктів термодеструкції та якість виливка.

До основних характеристик якості пінополістиролових моделей відносяться щільність, розмірна точність, шорсткість поверхні та суцільність, які напряму залежать від основних технологічних характеристик методів одержання моделей (надлишковий тиск та температура пари, час спікання). Опис удосконалювання процесів та устаткування для одержання моделей наведено в роботах [1, 2].Тож для систематизації даних технологічного процесувзаємодію устаткування для реалізації циклу виготовлення ливарних пінополістиролових показано у вигляді блок-схеми (рис. 1). Відповідно до цієї блок-схеми, кожний комплекс устаткування призначений для реалізації технологічного переділу та забезпечує виконання конкретних операцій циклу. Використання цієї блок-схеми дає можливість розробити алгоритми вибору

необхідного обладнання для одержання пінополістиролових з заданими показниками характеристик якості.

Рисунок 1 - Блок-схема складу технологічного устаткування та його взаємодії при виконанні технологічних операцій виготовлення ливарних пінополістиролових моделей, застосування протипригарних покриттів, використання та утилізації відходів пінополістиролу

Перелік літератури

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

2. *Дорошенко В.С., Шинский И. О., Бердыев К. Х.*Обобщение опыта изготовления пенополистироловых литейных моделей // Металл и литье Украины. – 2010.- №5. – С. 14 – 19.

УДК 621.375.826

А. П. Шатрава, В. П. Лихошва

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

Тел./факс.: +38044 424-3230, e-mail: shatrava@ptima.kiev.ua

НОВЕЙШИЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Благодаря своим уникальным комплексам свойств (высокая износостойкость, коррозионностойкость, прочность, жаропрочность, электропроводность и др.), биметаллические изделия, получают все большее распространение при производстве и восстановлении деталей в химической, нефтехимической, пищевой промышленности и машиностроении.

По основному назначению современные биметаллы можно разделить на три группы: износостойкие, коррозионностойкие и антифрикционные.

Все разнообразие биметаллов различают также по химическому составу слоев, по форме изделий, по способу получения, по расположению, геометрическим параметрам слоев и др.

Для работы в экстремальных условиях применяют биметаллические материалы, основным слоем которых являются нержавеющие и жаропрочные сплавы, ниобий, тантал и другие тугоплавкие материалы. Однако использование таких дорогостоящих материалов неизбежно сказывается на экономической эффективности их производства.

По способу образования связи между слоями, биметаллы делятся на диффузионные, металлургические и адгезионные.

Наиболее распространенными методами получения биметаллов с применением пластической деформации используется: прессование, прокатка, сварка взрывом и др. Для метода без пластической деформации характерны такие процессы как: литье, сварка, наплавка, напыление и др. Эти данные

свидетельствуют о широком спектре способов и технологических приемов используемых при изготовлении биметаллических изделий (таб. 1)

Таб.1. Основные способы производства биметаллических изделий.

Способы производства биметаллических изделий																		
Механические				Литейные методы				Сварные методы						Наплавка и напыление				
Прессование	Прокатка	Ковка	Штамповка	Литье в ЖС формы	Центробежное	Под давлением	Литье в кокиль	Дуговая	Плазменная	Электрошлаковая	Лазерная	Диффузионная	Взрывом	Вибродуговая	Газовая	Плазменная	Лазерная	Детонационное	Электронно-лучевая

В развитие ранее разработанных традиционных технологий в данной работе предусмотрено создание нового гибридного метода литейно-лазерной обработки для получения биметаллических и многослойных изделий, что позволяет совместить преимущества использования концентрированных источников энергии с традиционными литейными технологиями производства и восстановления деталей машин (рис. 1).

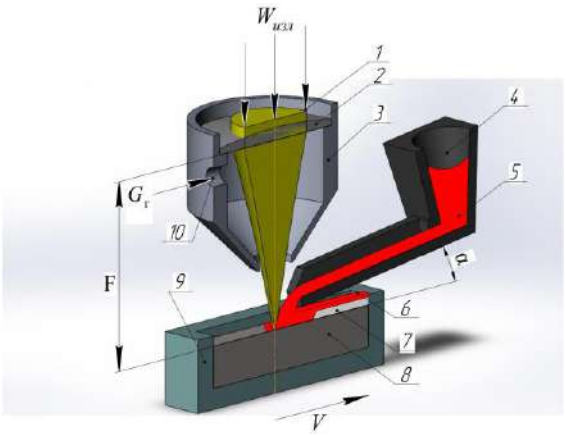


Рис. 1. Схема получения биметаллической конструкции под действием лазерного излучения, где: 1 – лазерное излучение, 2 – фокусирующий элемент, 3 – сопло, 4 – дозирующий лоток, 5 – расплав металла, 6 – затвердевающий слой, 7 – залитый слой, 8 – заготовка, 9 – ограничители, 10 – защитный газ.

Метод позволяет получить значительные технические и экономические результаты, из которых наиболее важными являются: увеличение ресурса

эксплуатации деталей машин в 2,5 - 6,0 раз по сравнению с серийными изделиями и уменьшение до 70 - 80% расходов высоколегированных дорогостоящих материалов.

УДК 621.744

М.В. Швец, О.И. Пономаренко, И.А. Гримзин, Н.С. Евтушенко, А.В. Зубишина

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕРЖНЕЙ НА ОСНОВЕ СОЛЯНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК

Литейный стержень - применяемый в литейном производстве отъёмная часть литейной формы, оформляющая преимущественно внутренние полости отливки. В тех случаях, когда конфигурация литейной модели затрудняет её извлечение из литейной формы, литейный стержень используют и для формирования наружных частей отливки. Литейный стержень изготовляют на стержневых машинах, из специальных стержневых смесей с последующей их сушкой или отверждением, в том числе непосредственно в стержневых ящиках. [1]

Стержни при заливке формы со всех сторон окружены жидким металлом, поэтому они должны обладать комплексом свойств: высокой газопроницаемостью, а также прочностью, податливостью, выбиваемостью, что обеспечивается выбором состава соответствующей стержневой смеси и конструкцией стержня. [2]

Как правило такие стержни изготавливают из веществ, которые при надлежащем обращении не вступают в реакции, протекающие с выделением газов, отрицательно не влияют на окружающую среду, ни при изготовлении стержней, ни в процессе литья. Поскольку при литье не образуются газы, улучшается качество отливок, не возникает газовых и усадочных раковин. При удалении стержней не образуются остатки, требующие особой утилизации. В зависимости от состава возможно их повторное использование. Извлечение солей из жидкой фазы возможно, например, распылительной сушкой или выпариванием. [3]

Основной задачей исследования является разработка прогрессивных технологий изготовления стержней на основе солевой композиции с использованием связующего Recril Slow Set C и отвердителя Dursil C1 производства Италии.

Для этого были поставлены и решены следующие задачи:

- изучено современное состояние вопроса по использованию технологического процесса получения соляных стержней;

- экспериментально определены свойства соляных стержней на основе использования методик определения прочности на сжатие, осыпаемость, живучесть и остаточной прочности смесей;

- проведен планируемый эксперимент и установлены закономерности нарастания прочности смеси, изменения остаточной прочности, живучести и осыпаемости с использованием связующего Recril Slow Set C и отвердителя Dursil C1.

Применение стержней на основе соляной композиции позволит получать высококачественные отливки и улучшить состояние окружающей среды.

Список литературы:

1. Анисович Г.А. Кристаллогидратные смеси с кальцинированной содой. /Г.А. Анисович, Е.С. Гамов // Литейное производство. – 1975. – № 9. – С.. 21-22.

2. Оболонцев Ф.Д. О применении легкоудаляемых стержней для тонкополосных отливок / Ф.Д. Оболонцев., В.В. Ясюков, Д.П. Грозов, М.Я.Телис // Литейное производство. – 1978. – № 5. – С.. 30-32.

3. Иванова Л.А. Процессы формирования сложнопрофильных отливок // Л.А. Иванова, А.А. Бондарь – Одесса: Полиграф, – 2006. – 128с.

УДК 621.744.3

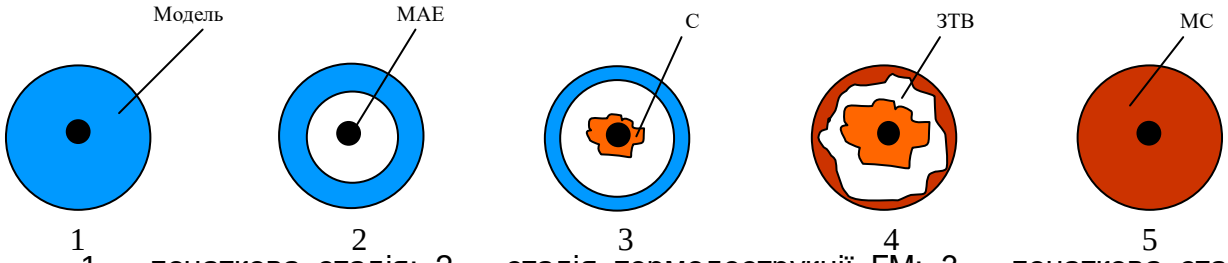
Шинський, І. А. Шалевська, Є. В. Погребач, В. А. Слюсарев

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Тел. +380675067111 (моб.),E-mail: aluprt@ukr.net

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ МАСО- І ТЕПЛООБМІНУ АРМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ І МАТРИЧНОГО СПЛАВУ

Згідно встановленим закономірностям про умови затвердіння, руху матричних сплавів у формах з макроармуючими елементами, їх взаємодії з пінополістироловою моделлю і продуктами її термодеструкції у вигляді рідкої, газоподібної і твердої фаз була розроблена фізична модель масо- і теплообміну армуючих елементів і матричного сплаву при формуванні структури і властивостей литих армованих конструкцій в нових для теорії ливарних процесів багатокомпонентних системах: "метал–модель–макроармуючі елементи–форма"[1, 2].. Суть цих моделей полягає в наступному(рис.1).



1 – початкова стадія; 2 – стадія термодеструкції ГМ; 3 – початкова стадія кристалізації; 4 – стадія затвердіння; 5 – охолодження

Рисунок 1– Фізична модель отримання литих армованих конструкцій

Спочатку матричний розплав надходить у форму під дією гідростатичного або підвищеного тиску на рідкий метал Рм, що веде до швидкого прогріву металевого стрижня розміщеного в пінополістироловій моделі, що підтверджується розрахунковими даними нагрівання стрижня по всій висоті моделі до температури її газифікації (450 °С) не перевищує 0,4…0,5 с.

У цій і подальшій стадії заповнення форми з встановленими в ній вертикальними армуючими елементами (у нашому випадку у вигляді стрижнів), ускладнюють область течії рідкого металу і надають певний вплив на теплофізичні та гідродинамічні процеси, що протікають у ній.

У наступний період руху матричного сплаву у формі з піномоделлю

відбувається початкова стадія газифікації моделі (поз. 2) у двох напрямках: на фронті потоку рідкого металу з утворенням зазору "метал – модель" та навколо стрижня з утворенням зазору "макроармуючі елементи – модель". У цей період продукти термодеструкції моделі мігрують в форму через зазори, що утворилися, причому зазор "макроармуючі елементи – модель" постійно збільшується і досягає межі форми.

При переміщенні продуктів термодеструкції відбувається часткова конденсація на стрижні (поз. 3) з утворенням облямівки навколо стрижня у вигляді піровуглецю, який веде до навуглецювання в контактній зоні стрижня, вміст вуглецю в якому явно нижче, ніж у матричному сплаві (чавуну, середньо - та високовуглецевої сталі). В цей період відбувається розплавлення стрижня у вигляді зниження його температури плавлення, що сприяє утворенню міцної перехідної зони на контактній поверхні "макроармуючий елемент – матричний сплав".

Перелік літератури

1. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологиилитьяжелезоуглеродистых и цветныхсплавов по газифицируемым моделям: дис. докторатехн.наук: 05.16.04 «Литейноепроизводство» / О.И. Шинский. – К., 1997. – 473 с.

*2. Shinsky I.*Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings. / IgorShinsky, Inna Shalevska, JamalMusbah // TEKA. Edition of Lublin University of technology. – 2015. - Vol. XD(in English).

УДК 669.14.621.135.2

С.Я. Шипицин, О.П. Осташ, В.В. Кулик, И.Ф. Кирчу, В.Г. Новицкий

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

Тел/факс: (044) 423-15-83, E-mail: odus@ptima.kiev.ua

НОВАЯ СТАЛЬ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ

Надежность и эксплуатационный ресурс железнодорожных рельсов и колес массового производства, которые находятся в наиболее жестких условиях эксплуатации и, главным образом, определяют технико-экономические показатели эффективности работы железнодорожного транспорта, уже не отвечают современным требованиям повышенных скоростей движения и грузоподъемности подвижного состава. Это относится как к Украине, так и странам дальнего зарубежья. Главной причиной является применение для массового производства колес нелегированных и низколегированных высоко- и среднеуглеродистых перлитных сталей. В сталях этих классов повышение статической прочности и износостойкости за счет увеличения содержания углерода сопровождается снижением циклической прочности, статической и циклической вязкости разрушения, пластичности, контактной выносливости [1].

При разработке новой колесной стали экспериментально исследовали влияние режима дисперсионного нитридванадиевого упрочнения и изменения базового состава стали (сталь №2 по ДСТУ ГОСТ 10791:2006) по углероду, кремнию и марганцу на ее механические и ресурсные свойства.

В таблице приведен химический состав стандартной стали аналоге и опытной стали марки КАФ с комплексным дисперсионным нитридным и твердорастворным кремнием и марганцем упрочнением.

Сталь	Элементный состав, мас. % (остаток Fe)									
	C	Si	Mn	V	N	(VxN)•10^{-4}	Cr	S	P	Al
Стандартная	0,61	0,17	0,56	0,098	0,006	5,8	0,18	0,015	0,012	0,060
КАФ	0,51	0,67	0,81	–	–	29,8	0,37	0,025	0,025	0,014

Определение оптимального режима дисперсионного нитридванадиеого упрочнения по количеству азота и ванадия в стали, который обеспечивает эффективное положительное влияние на диспергирование аустенитного зерна и составляющих феррито-перлитной структуры, а также дисперсионное упрочнение

феррита нанорозмерными частицами нитрида внадия, выполнено в работе [2], а оптимального твердорастворного упрочнения кремнием и марганцем определены по данным работ [3, 4]. Необходимость снижения содержания углерода в опытной стали КАФ показана в работах [1, 2]. Изготовление опытных сталей проходило в одних условиях их выплавки, разливки, горячего деформирования и термической обработки.

В результате исследований установлено, что разработанная колесная сталь КАФ превосходит стандартную по следующим характеристикам: повышенной прочности: $\sigma_{0,2}$ на 260МПА при практически одинаковых пластичности и вязкости разрушения δ=19%; KCV^{+20^oC}=112 Дж/см^2 ; повышенной хладостойкости : KCV при минус 40 ^{o}C повышена с 10,0 до 13,0 Дж/см^2; повышенной теплостойкости: разупрочнение при 100 часовом нагреве при 600^{o}C снижено с 40% до 30%; повышенной почти в 5 раз износостойкости при сухом трении скольжения и на 38% при трении качения с проскальзыванием; пониженной в 2,5 раза склонности к $\alpha\rightarrow\gamma\rightarrow\alpha$ (мартенсит) превращению, которое является одной из причин образования дефектов типа «ползун».

Результаты исследований показывают перспективность применения разработанной новой колесной стали для грузового подвижного состава с повышенным до 2-х раз эксплуатационным ресурсом, повышенной на 15-20% грузоподъемностью для планируемых до 120-140 км скоростями движения в разных климатических зонах и геометрии железнодорожных путей.

Список литературы

1. *Осташ О.П., Андрейко І.М., Кулик В.В.* та інш. Втомна довговічність сталей залізничних коліс // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – №3. – С.93–102.
2. *Бабаскин Ю.З., Шипицын С.Я., Кирчу И.Ф.* – Конструкционные и специальные стали с нитридной фазой – Киев: Наук. думка. – 2005. – 371 с.
3. *Бабаченко А.И., Тогобицкая Д.Н., Козачок А.С.* и др. Концептуальные основы выбора химического состава стали для железнодорожных колес // Металознавство та термічна обробка металів. – 2014. – №4. – С. 34–48.
4. *Танака Йошихару.* Влияние химического состава, величины зерна и скорости охлаждения на механические свойства низколегированной среднеуглеродистой стали // Тэцу то хаганэ. – 1983. – 69, №5. – 507 с.

УДК 669.046:621.74.046:621.039.64

О.В. Шматко, В.П. Лихошва, Л.М. Клименко

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

Тел. 044-424-323-30, e-mail: blacknorfolk@gmail.com

ЧИСЕЛЬНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ СТАЛЬНОЇ ЗАГОТОВКИ КОНЦЕНТРОВАНИМ ТЕПЛОВИМ ДЖЕРЕЛОМ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ ЛИВАРНО-ПЛАЗМОВОМУ ОТРИМАННІ БІМЕТАЛЕВОЇ ПОЛОСИ

При сучасних обсягах світового виробництва продукції, обладнання потребує використання зносостійких матеріалів. Особливо гостро проблема стоїть в гірничодобувній промисловості, де техніка працює в умовах інтенсивного абразивного і ударно-абразивного зносу [1]. Одним з варіантів вирішення проблеми є використання біметалевих виробів, комплекс властивостей яких поєднує як конструкційні, так і зносостійкі характеристики. Безперервна ливарно-плазмова технологія отримання біметалевих конструкцій [2] дозволяє отримувати біметалеві смуги, що використовуються для зносостійкого посилення ковшів гірничодобувної і землерийної техніки.

Необхідною умовою отримання якісного з’єднання є дотримання необхідних температурних параметрів заготовки в момент контакту з рідким металом. Для цього потребується попередній підігрів стальної полоси.

В рамках розробки ливарно-плазмової технології отримання біметалевих конструкцій було проведене імітаційне комп’ютерне моделювання для діапазону вихідних даних відображених в таблиці та досліджено температурний стан сталевої заготовки під дією концентрованого джерела теплової енергії в процесі скануючої обробки.

Таблиця. Технологічні параметри обробки стальної полоси концентрованим джерелом

Параметры	Значення
Повна потужність концентрованого джерела, Вт	2000 – 12000
Діаметр плями нагріву, мм	4 – 6
Повздовжня швидкість переміщення заготовки, мм/с	3 – 9

Частота сканування, Гц	1 – 7
Розміри розрахункової області $l_x*l_y*l_z$, мм	70x100x10
Матеріал заготовки	Ст.3

Задаючись значенням критичної температури поверхні T > 900 °C, як необхідним для гарантованого дифузійного з'єднання стальної заготовки з розплавом що заливається, визначено мінімальне значення потужності концентрованого теплового джерела – 6 кВт. При повздовжній швидкості переміщення заготовки V=9 мм/с довжина температурної зони > 900 °C варіюється в межах від 3 до 10мм. Таким чином, площа зони з необхідними температурами може досягати 700 мм^2, що є задовільним для отримання якісного зв'язку.

Виявлено, що стальна полоса прогрівається нерівномірно і температурне поле має умовно симетричний характер відносно центру зони обробки. Нерівномірність прогрівання заготовки пояснюється синусоїдальною залежністю лінійної швидкості теплового джерела відносно заготовки. По краям зони обробки проходить уповільнення, що призводить до значного перегріву матеріалу заготовки та її підплавлення.

В зв'язку з тим що нагрів концентрованим джерелом тепла носить локальний характер спостерігається значне падіння температур по мірі просування стальної полоси в зону заливання рідкого металу. Для компенсації теплових втрат на охолодження необхідний більший перегрів над критичною температурою поверхні. Але збільшення потужності концентрованого джерела призводить до збільшення градієнту температур між центром і краями зони обробки. Попередній об'ємний підігрів заготовки перед скануючим нагріванням сприяє зменшенню перепадів температур в зоні обробки та дозволяє уникнути використання обладнання високої потужності.

Список літератури

1. *Брыков М.Н.* Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании: Научное издание / М.Н. Брыков, В.Г. Ефременко, А.В. Ефременко. – Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 364 с.

2. Патент України на корисну модель UA №54486, B22C 19/00. Спосіб одержання зносостій- ких багатошарових металевих виливків / Лихошва В.П., Найдек В.Л., Каричковський П.М., Пелікан О.А., Глушков Д.В., Надашкевич Р.С. - № u201005922; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.11.2010. – Бюл. № 21/2010.

УДК 621.74.046:667.633:546.261

В.О. Щерецький, А.С. Затуловський

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

Тел./факс.: 044 424 35 42 , e-mail: kompozit@ptima.kiev.ua

ОДЕРЖАННЯ ЩІЛЬНИХ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ БРОНЗ ЗМІЦНЕНИХ ДИСПЕРСНИМИ ОКСИДАМИ І КАРБІДАМИ

В роботі досліджували вплив технологічних режимів. на щільність зразків композитів з нанорозмірними замінювачами карбідів та оксидів, одержаних за технологічним рішенням описаним в роботі [1]. Сталеве оснащення в випадку формування композиційного шару на основі БрО10Ф1 розміщують мікро-наногранули на основі порошку БрО10Ф1, а в випадку формування композиційного шару на основі БрА9Ж4 – порошки міді та алюмінію в пропорції 1:10. Попередньо на поверхню мідного порошку наносили нанорозмріний зміцнювачі, а на поверхню алюмінієвого порошку гексахлоретан, шляхом його розчинення в етиловому спирті в кількості 0,5 мас. % відносно маси порошку алюмінію, з наступною сушкою при кімнатній температурі. Композиційна заготівка піддавалася попередньому гарячому пресуванню, та наступному пічному наплавленню, для формування міцного адгезійного зв’язку між шарами матеріалу, що забезпечується широкою перехідною дифузійною зоною.

Для процесу попередньої консолідації матриці шляхом гарячого пресування встановлювали оптимальні режими нагріву, ізотермічної витримки, пресування та пічної наплавки, які дозволили одержувати шар з максимальною щільністю.

Для матеріалу на основі БрО10Ф1, оптимальним режимом попередньої термічної обробки є нагрів до 450 °С з витримкою 15 хв. Для матеріалу на основі БрА9Ж4, оптимальним режимом попередньої термічної обробки є нагрів до 500 °С з витримкою 10 хв.

Для матеріалу на основі БрО10Ф1 було встановлено, що при зміні навантаження пресування від 8 до 20 МПа та часу витримки від 5 до 20 хв; пористість заготівки змінюються в межах 31-23 %, оптимальним режимом гарячого пресування є навантаження 17 МПа з витримкою 15 хв.

Для матеріалу на основі БрА9Ж4 було встановлено що, оптимальним режимом гарячого пресування є навантаження 20 МПа з витримкою 10 хв.

Для ШКМ з функціональним шаром на основі БрО10Ф1 було встановлено, що при зміні часу і температури печної наплавки пористість матеріалу змінюються від 8 до 3 %. Оптимальним режимом печної наплавки є нагрів до 1100 °С без витримки.

Для ШКМ з функціональним шаром на основі БрА9Ж4 було встановлено, що при зміні часу і температури печної наплавки пористість матеріалу змінюються від 4,6 до 1,3 %. Оптимальним режимом печної наплавки є нагрів до 1150 °С з витримкою 10 хв (рис.1).

Середня ширина перехідною зони в ШКМ при застосуванні оптимальних режимів консолідації шарів склала 25 мкм та 63 мкм для матеріалів з композиційним шаром на основі сплавів систем БрАЖ та БрОФ відповідно.

Металографічні дослідження виявили, що з збільшенням часу ізотермічної витримки при печній наплавці, збільшується розмір зерен матеріалу, для КМ на основі БрА4Ж9 з 3% карбідів вольфраму ефект збільшення розміру зерна майже нівельований дією нанорозмірного зміцнювача.

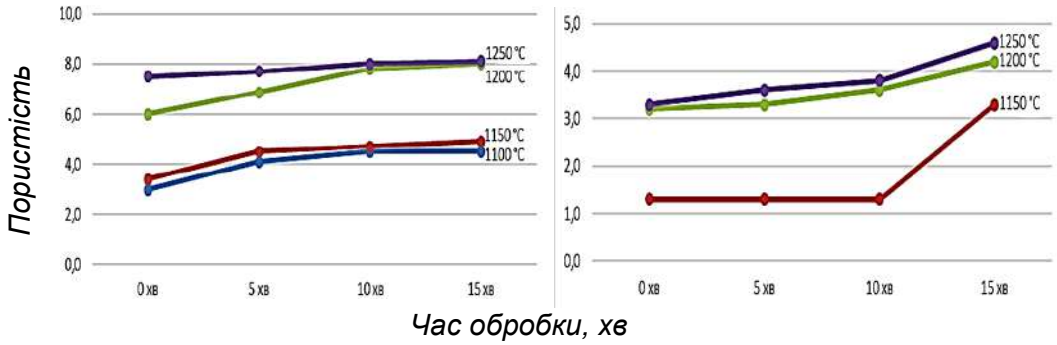


Рис. 1 – Залежність показника пористості композиційного шару від умов печної обробки (а – КМ на основі БрО10Ф1; б (а – КМ на основі БрА9Ж4).

Список літератури

1. ***Shcheretskyi V.O., Zatulovskyi A.S., Shcheretskyi O.O.*** Formation of tribotechnical composite layer on the base of Cu-Al-Fe system reinforced with nanosized particles by liquid phase metallization method // Book of abstracts International research conference “Nanotechnology and Nanomaterials” NANO-2018, ISBN: 978-966-97694-0-4. – 2018. – P. 212.

УДК 621.74.045

Яковишин О.А.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

E-mail:gu-rd@i.ua

ПІДВИЩЕННЯ СПІНЮЮЧОЇ АКТИВНОСТІ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ ГРАНУЛ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ

Операції попереднього спінювання і активації гранул полістиролу є невід'ємною складовою технології лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ). Вони проводяться з метою регулювання густини ГМ і значною мірою визначають якість як самої ГМ, так і виливка. Існує пряма залежність між чистотою поверхні, розмірною точністю, міцністю ГМ та її об'ємною масою. В процесі оптимізації тривалості попереднього спінювання і активації одночасно розв'язуються дві основні задачі – з одного боку необхідно отримати ГМ з мінімальною густиною, що в свою чергу: 1)дозволяє економити модельний матеріал, 2)сприяє зниженню кількості продуктів термодеструкції в процесі заливання форми, що реагують з металом виливка і виділяються в навколишнє середовище, а з іншого – виключити найменшу можливість деформації системи "метал-модель-форма", що неможливо забезпечити без ГМ з відповідними міцнісними властивостями. Згідно традиційної технології після нагрівання і витримки протягом заданого часу спінені гранули охолоджують на повітрі, в результаті чого полімерна основа гранул поступово з в'язкоплинного стану переходить в склоподібний, а спінюючий агент конденсується, створюючи при цьому в кожній комірці гранули вакуум. Для того, щоб спінені гранули найбільш ефективно могли використати свій потенціал на етапі завершального формування конгломерату гранул в ГМ, вони піддаються досить тривалому процесу витримки, який сприяє дифузії повітря всередину комірок гранул. В іншому випадку значна кількість залишкового пороутворювача буде використана не на ріст гранул, а на компенсацію присутнього в ній вакууму. Крім того, активація спінених гранул на повітрі супроводжується також процесом, що проходить в зворотньому напрямку: дифузією залишкового пороутворювача (в якості якого використовують речовини з низькою температурою кипіння $t_{КИП}$=26÷30 ºС) з гранули, що негативно впливає на її спінюючу активність, яка характеризується коефіцієнтом спінювання $К_В$, що визначається

співвідношенням об’єму спіненої до об’єму початкової гранули. Оскільки при незмінній молекулярній масі пінополістиролу потрібну міцність ГМ при мінімальній допустимій густині ГМ можна забезпечити за рахунок більшого вмісту пороутворювача, відповідно економне його використання на етапі активації є дієвим способом досягнення поставленої мети. Прискоривши процес охолодження гранул, який можна здійснити низькотемпературною обробкою в холодильній установці одразу ж після виймання з підспінювача, тим самим скорочують тривалість перебування гранул в температурному інтервалі 100÷26 ºС. Полімерна структура гранули швидше фіксується, переходячи в склоподібний стан, створюючи тим самим додаткові перешкоди для вивільнення пороутворювача. Порівняльні експерименти залишкового вмісту пороутворювача в спінених гранулах за значеннями коефіцієнтів повторного спінювання дозволили встановити, що витримка при температурі -60 ºС порівняно з традиційною витримкою на повітрі дозволила знизити втрати пороутворювача на 0,1÷0,5 % при його вмісті в початковому полістиролі 7%. Зниження густини (на 4÷7%) ГМ, виготовлених з гранул, оброблених при температурі -60 ºС, сприяє зменшенню величини усадки ГМ, що пояснюється послабленням стискаючих зусиль полімерної основи гранул. Підвищений вміст пороутворювача в актовованих гранулах при температурі -60 ºС є причиною збільшення внутрішньокоміркового тиску і, як результат, покращення якості поверхні ГМ. Значення міцностей на стискання і вигин при 1 %-вій деформації зразків, вирізаних з ГМ густиною 25 кг/м^3, склали відповідно 0,12 МПа і 0,15 МПа, що перевищують необхідні значення міцностей ГМ згідно технологічних вимог. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про перспективність застосування низькотемпературної обробки для підвищення спінюючої активності гранул пінополістиролу з метою отримання міцних ГМ з меншою густиною.

УДК 621.745.55

Ямшинський М.М., Федоров Г.Е., Ковальчук А.Г.

КПИ им. Игоря Сикорского, м. Київ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОТЛИВКАХ ПРИ ИЗНОСОСТОЙКОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ

Большинство деталей изготовляют с использованием литых заготовок, то есть отливок. Срок службы литых деталей в значительной степени определяет надежность машин и их производительность.

Для достижения высоких поверхностной прочности и износостойкости литых деталей в машиностроении используют различные виды обработки: химико-термическую, лазерную и др., а также электрохимические покрытия и специальные наплавки. Установлено, что технологии изготовления отливок с использованием объемного легирования сплавов далеко не всегда себя оправдывают, а во многих случаях экономически не выгодно, поскольку лишь небольшая толщина таких деталей изнашивается или окисляется вследствие внешних воздействий, что приводит к неоправданным расходам дорогих легирующих элементов, в составе высоколегированных сплавов.

Перспективным направлением развития технологии получения отливок с дифференцированными свойствами является поверхностное легирование, которое заключается в применении красок и паст, наносимых на поверхность литейной формы перед заливкой ее углеродистым расплавом.

Авторами исследованы процессы износостойкого поверхностного легирования с использованием некоторых ферросплавов, в состав которых входят карбидообразующие элементы.

Изучено влияние карбидообразующих элементов, входящих в состав сравнительно дешевых ферросплавов, на процессы поверхностного легирования отливок в литейной форме.

Теоретический и практический интерес представляют исследование кривых охлаждений не дорогих ферросплавов с целью определить возможность их использования для поверхностного легирования. Анализом кривых охлаждений установлено, что использование данных ферросплавов целесообразно для поверхностного легирования. Для всех компонентов очевидное их расплавление под

действием температуры расплава, поскольку их температуры плавления значительно ниже температуры плавления железа. Расплавление легирующих покрытий подтверждено визуальным анализом полученных образцов. В соответствии с содержанием углерода температура плавления ферромарганца 1200 °С для ФМн78 и 1240 °С – ФМн1,5. Аналогичная ситуация и с феррохромом: 1580°С – ФХ800 и 1620°С – ФХ015. Анализ кривых охлаждения подтверждает предыдущие данные авторов работы относительно толщины легированного слоя от материала покрытия в зависимости от температуры плавления покрытия.

С увеличением размеров фракции количество легирующего покрытия, которое не расплавилось, увеличивается, а толщина легированного слоя уменьшается. Таким образом, для полного расплавления легирующего покрытия на основе марганца необходимо повышать температуру расплава до 1620±10 ºС и увеличивать скорость заполнения литейной формы для сохранения его теплосодержания.

Таким образом, для износостойкого поверхностного легирования с экономической точки зрения целесообразно использовать дешевый высокоуглеродистый ферромарганец ФМн78, который обеспечивает стабильность процесса поверхностного легирования и способствует образованию легированного слоя достаточной толщины.

Распределение Mn и Fe показывает, что в легированном слое образовывается достаточное количество карбидов Mn, что подтверждает повышение твердости легированного слоя до 3 мм. Далее в глубине слоя твердость падает вследствие малой диффузии марганца в структуре железа, образовывая только твердый раствор, вследствие пропитки жидким металлом.

Влияние углерода, который присутствует в ферромарганце способствует образованию карбидов высокой степени дисперсности, которые препятствуют протеканию процессов рекристаллизации. Также установлено, что марганец обладает диффузией в диапазоне температур 1050…1450 °С

Следовательно, для износостойкого поверхностного легирования целесообразно использовать высокоуглеродистый ферромарганец, чистый марганец марки Мн965, механические смеси карбидообразующих элементов или химические соединения легирующих элементов.

УДК 621.745.55

Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

ВИСОКОХРОМИСТІ ЧАВУНИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

У вітчизняній і зарубіжній практиці накопичений значний досвід застосування як зносостійких матеріалів, що працюють в умовах інтенсивного абразивного або гідроабразивного зносу, білих чавунів з високим вмістом хрому та марганцю. Проте такі чавуни мають відносно невисокі зносостійкість і механічні властивості, схильні до утворення тріщин у виливках під час кристалізації металу або термічного оброблення виливків. Пошуки нових, ефективніших і дешевших сплавів для роботи в екстремальних умовах або удосконалення існуючих без підвищення собівартості продукції ливарних цехів, є завданням актуальним.

Проте, аналізом літературних даних з цього питання установлено, що сьогодні однозначної чіткої відповіді щодо впливу структурних складових на зносостійкість сплавів немає.

У роботі розглянуто перспективність використання високолегованих чавунів з карбідами типу Me_7C_3 та $Me_{23}C_6$ для виробництва литих деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу.

Одержання такого комплексу властивостей практично неможливо ні в однофазному однокомпонентному, ні навіть у багатокомпонентному сплаві, але цілком можливо в максимально гетерогенному. При цьому треба враховувати, що для різних умов впливу навантажень, що сприяють зносу, оптимальна зносостійкість створюється за різних, але характерних для кожного конкретного випадку, структурних складових сплаву.

Досліджено вплив хрому на властивості зносостійкого чавуну в діапазоні його концентрацій від 4,5 до 31,6% за вмісту в металі біля 3,0% вуглецю.

Відомо, що хромисті чавуни без додаткового легування аустенітностабілізувальними елементами мають низьку прогартовуваність, тому вихідний чавун вміщував додатково 4,0…5,0% Mn. Такий вміст марганцю в хромомарганцевих білих чавунах з карбідами Me_7C_3 забезпечує прогартовуваність виливків з еквівалентною товщиною стінки до 350 мм, тобто практично будь-яких виливків, що виготовляють у промисловості.

Відносну зносостійкість тут і далі визначали в гідроабразивному середовищі з використанням кар'єрного піску. Як еталон для порівняння використовували зразки із сплаву 280Х28Н2.

Установлено, що підвищення концентрації хрому в чавуні від 4,5 до 21,0% суттєво покращує його експлуатаційні властивості, оскільки кількість карбідів цементитного типу зменшується внаслідок утворення спеціальних карбідів хрому $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$ з вищою мікротвердістю. При цьому евтектика ледебуритного типу поступово витісняється евтектикою з розгалуженими диспергованими складними карбідами, яка значною мірою відповідає принципу Шарпі. Підвищенню твердості та зносостійкості чавуну сприяє збільшення кількості цієї евтектики й зменшення кількості аустеніту.

Підвищення концентрації хрому в чавуні понад 21% призводить до появи в структурі крупних заевтектичних карбідів типу Cr_7C_3 та до збільшення кількості легованого хромом фериту, що й знижує зносостійкість сплаву.

Карбіди Cr_7C_3 кристалізуються у вигляді довгих голкоподібних шестигранників. Такі карбіди знижують зносостійкість й особливо міцність виливків, хоча твердість сплаву при цьому підвищується.

Отже, для одержання хромомарганцевих чавунів з високою зносостійкістю (вищою, ніж чавуну 280Х28Н2), вони мають вміщувати в своєму складі від 8 до 30% хрому.

Проте з урахуванням повного комплексу ливарних, механічних, експлуатаційних та економічних показників доцільнішим діапазоном концентрацій хрому у високохромистих чавунах слід вважати 15…25%.

Марганець сприяє стабілізації аустеніту у високохромистому чавуні. З підвищенням вмісту марганцю в чавуні твердість сплаву знижується, що пояснюється збільшенням кількості залишкового аустеніту в основі металу та його стабілізацією. Крім того, марганець підвищує розчинність вуглецю в *γ*-залізі, що призводить до зменшення загальної кількості карбідів хрому.

За результатами роботи, можна вважати що в хромомарганцевих чавунах кожен відсоток марганцю може знижувати вміст карбідної фази на 1,0…1,4%. Зносостійкість сплаву при цьому зменшується – уже за вмісту марганцю біля 9% вона стає меншою, ніж сплаву 280Х28Н2.

Таким чином, для досягнення високої зносостійкості хромомарганцеві чавуни мають вміщувати в своєму складі від 15…25% хрому та від 2,0 до 9,0% марганцю.

УДК 621.74.04:621.763

В. В. Ясюков, Т. В. Лысенко, А. А. Бондарь

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ОТЛИВКАХ

Развитие отраслей новой техники (авиация, высокотемпературная энергетика, реакторостроение и др.) привели к новым требованиям, при которых необходимый комплекс свойств не может быть обеспечен известными сплавами. Для решения этой задачи целесообразно использовать метод формообразования – композиционное литьё, имеющий большие потенциальные возможности. Это достигается синтезом отдельных элементов, изготовленных наиболее эффективным для данной детали методом и удовлетворяющих эксплуатационным требованиям. Такие элементы, установленные в литейную форму, после заливки жидким металлом объединяются в единое целое – композиционную отливку. Композиционное литьё по своей природе гетерогенно, что позволяет получать служебные свойства нового качества, недоступные для отдельных элементов, составляющих композицию. Лимитирующим звеном этого процесса является объединение отдельных элементов в единое целое расплавом и формирование качественных связей адгезионного, механического, диффузионного характера. В качестве твердых элементов рассматриваются пористые металлокерамические оболочки (ПМКО), получаемые методом твердофазного спекания [1]. При твердофазном спекании металлических порошков возможно управлять химическим составом дисперсной среды, гранулометрическим составом, седиментационной устойчивостью суспензий, параметрами обжига, пористостью. Консолидация изделия происходит при «самопроизвольном» уплотнении пористого тела, обусловленном тенденцией к уменьшению свободной поверхностной энергии; кинетика процесса определяется скоростью вязкого течения. Этот процесс осуществляется под действием капиллярного давления, приложенного к искривленным участкам свободной поверхности дисперсной фазы [2].

В реальных технологических условиях спекание порошковых материалов протекает с учетом диффузии, химических процессов на границе раздела и газовой среды, в которой происходит спекание. Процесс спекания условно разделяется на

три стадии. На начальной стадии происходит удаление органики и припекание порошков с увеличением площади контакта между ними. Кинетическая кривая огневой усадки характеризуется высокой скоростью, что следует учитывать при определении размерной точности будущей отливки. На втором этапе происходит рекристаллизационное смещение новых границ зерен благодаря наличию большого количества дефектов кристаллической решетки отдельных компонентов дисперсной фазы. Третья стадия характеризуется дальнейшим ростом прочности и повышением огневой усадки. Использование ПМКО заключается в установке спеченной оболочки в литейную форму и заливку её жидким металлом. На границе жидкий металл – твердая оболочка формируется переходная зона. Обязательным условием является прогрев оболочки до температуры кристаллизации расплава; математический расчет температурных полей осуществляется решением дифференциального уравнения теплопроводности Фурье методом конечных разностей. При взаимодействии между элементами протекают следующие процессы: 1) смачивание и растекание с образованием физического контакта и формированием межатомных связей на границе раздела с использованием адгезионных сил. 2) диффузионное или химическое взаимодействие между твердой и жидкой фазами, сопровождающееся изменением химического состава контактных зон, образованием твердых растворов или интерметаллидов, на этой стадии решающее значение играют дефекты кристаллического строения. Возможными механизмами диффузии являются обменные, вакансионные, межузельные, краудионные. 3) кристаллизация жидкой фазы, фиксирующая структурное состояние отливки. Чем сложнее порошковая композиция, тем ярче выражен этот процесс и тем более разнообразны свойства отливки.

Предлагаемая технология обеспечивает низкую шероховатость поверхности (5 – 6 класс ГОСТ 2789-95), управление в широком диапазоне структурой поверхностного слоя отливки и физико-механическими свойствами.

Список литературы

1. Ясюков В. В. Композиционные отливки с регулируемым поверхностным слоем / В. В. Ясюков, Т. В. Лысенко, К. В. Волянская. // Металл и литьё Украины. – 2016. – №4. – С. 36–40.

2. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах / Б. С. Бокштейн. – М: Металлургия, 1978. – 248 с.

VIII МІЖНАРОДНА

НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

МЕТАЛУРГІЯ 2019

ЗМІСТ

Y. Haranich, Y. Frolov. ROLL BONDING OF ALUMINUM COMPOSITE REINFORCED WITH STEEL MESH 245

В.Ф. Балакін, Ю.Д. Угрюмов, С.В. Кадильников. РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК НА ПІЛІГРІМОВОМУ СТАНІ 247

Б.Ф. Белов, А.И. Троцан, С.Г. Мельник, Я.П. Карликова, И.В. Паренчук. СПЛАВЫ СИЛИКОКАЛЬЦИЙБАРИЯ ДЛЯ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 249

С.Б. Бойченко, С.В. Суховецкий, Б.М. Бойченко, А.Н. Стоянов, Е.В. Синегин. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В СТАЛИ ПРИ ЕЁ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ 251

С.Б. Бойченко, Я. А. Кириленко, Б.М. Бойченко, А.Н. Стоянов, Е.В. Синегин СТЕПЕНЬ ПРИБЛИЖЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕОКСИДАЦИИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ, К ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ РАВНОВЕСИЮ НА КАЖДОМ ИЗ ЭТАПОВ ВТОРИЧНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ 253

В.В. Бочка, А.В. Сова, А.В. Двоєглазова, М.О. Ващенко. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЯКІСНОГО АГЛОМЕРАТУ 256

І.О. Вакуленко, Д.М. Болотова, О.М. Перков. ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ ПЕРЛІТУ НА ВТОМУ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ЗА РІЗНОГО СТУПЕНЯ ЦИКЛІЧНОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ 258

А.А. Глотка, С.В. Гайдук МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ 261

А.В. Глушко, Ю.В. Рябець. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОСТІЙКИХ ПЕРЛІТНИХ СТАЛЕЙ У СУЧАСНОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОБЛАДНАННІ 263

А.М. Гришин, Е.С. Зыкин. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОХРОМИСТЫХ ЛЕГИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ 264

А.М. Гришин, И.С. Щеглова, А.А. Надточий. ВЛИЯНИЕ $FE_{МЕТ}$ НА КИНЕТИКУ ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМА С УЧАСТИЕМ КАРБИДА 265

Е.В. Гупало, А.О. Ерёмин, Е.А. Каракаш. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ МЕТАЛЛУРГИИ 266

І.В. Дерев’янко, О.В. Жаданос, С.М. Підгорний. ВИПЛАВКА СИНТЕТИЧНИХ ЧАВУНІВ НА ШИХТІ, ЩО МІСТИТЬ ВУГЛЕЦЬ-КАРБІДКРЕМНІЄВІ МАТЕРІАЛИ 268

К.В. Єгоров, В.С. Богушевський. ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ ТА КОРЕГУВАННЯ ПЛАВКИ 270

І.І. Іванов. ТЕХНОЛОГІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ НАГРІВОМ МЕТАЛУ В ЕЛЕКТРОКОЛОДЯЗЯХ 272

І.І. Іванов. СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ДІОКСИНІВ ТА ФУРАНІВ В АГЛОМЕРАЦІЙНОМУ ПРОЦЕСІ 274

В.В. Калинчак, А.С. Черненко, Р.Д. Куземко. РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ФУРМЕННОМ ОЧАГЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ 276

Д.А. Кассим, В.П. Лялюк, Е.В. Чупринов. ПРОБЛЕМЫ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ПО ОКРУЖНОСТИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ 278

Д. О. Кассім, В. П. Лялюк, Є. В. Чупринов. СУЧАСНА ДОМЕННА ПЛАВКА ПОТРЕБУЄ ЄДИНОГО ОГРУДКОВАНОГО ВИДУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ 280

М.А. Кащеев, В.А. Влади, Н.Р. Руденко АППАРАТ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ 283

Л.Г. Кеуш, А.С. Коверя, М.Н. Бойко, А.Ю. Худяков, Н.В. Полякова. ОСОБЕННОСТИ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНИНА 285

Н.А. Колбин, А.П. Мешалкин, Я.В. Мяновская. ИССЛЕДОВНИЕ СПЕКАНИЯ АГЛОШИХТЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОТОВОГО АГЛОМЕРАТА 287

Р. Д. Куземко, Т. Г. Шевченко, С. В. Козловцев, В. О. Синельников, Р. В. Карнаушенко, А. В. Лоза. ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА ГАЗОВЗВЕСИ ПЕРЕД СОПЛОМ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ГАЗОПОРОШКОВОЙ СТРУИ В ШЛАКОВЫЙ РАСПЛАВ 289

Р.Д. Куземко, Э.О. Цкитишвили, Г.А. Дорофеев, В.В. Калинчак, А.С. Черненко, А.Д. Шатровский. ВЛИЯНИЕ КОНСТАНТЫ МАСШТАБА ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ГАЗОНОСИТЕЛЯ ВДОЛЬ ОСИ СТРУИ ПРИ ВДУВАНИИ НЕРЕАГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВ В ФУРМЕННЫЙ ОЧАГ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ 291

Р.Д. Куземко, Т.Г. Шевченко, В.В. Калинчак, А.С. Черненко, Р.В. Карнаушенко, А.Д. Шатровский. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОШКА НА СКОРОСТЬ НЕСУЩЕГО ГАЗА В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ СТРУИ ПРИ ВДУВАНИИ НЕРЕАГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ 293

Р.Д. Куземко, Э.О. Цкитишвили, В.С. Козловцев, Л.А. Добровольская, В.Л. Монин, С.А. Гулак. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОРОШКА НА СКОРОСТЬ

ИСТЕЧЕНИЯ ИЗ СОПЛА ФУРМЫ И ТЕМПЕРАТУРУ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ СТРУИ ПРИ РАЗДУВКЕ ШЛАКА В КОНВЕРТЕРЕ 296

В.П. Лялюк, Е.О. Шмельцер, И.А. Ляхова, М.В. Кормер ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УГОЛЬНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОБАССЕЙНОВОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА 298

В.С. Мамешин, С.В. Журавльова. АЛЬТЕРНАТИВНІ ПРОЦЕСИ – ЧИ Є ПЕРСПЕКТИВИ? 300

С.Г. Мельник, А.И. Троцан, В.И. Курпас, Б.Ф. Белов. КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ РАСКИСЛЕНИИ ФЕРРОАЛЮМИНИЕМ 303

С.Г. Мельник. ТЕРМОДИНАМИКА ПОВЕДЕНИЯ ВОДОРОДА В КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АТМОСФЕРЫ 305

А.П. Мешалкин, А.В. Белый, В.Ю. Камкин, Н.А. Колбин, Р.В. Анкудинов РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ВТОРИЧНОЙ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ЗАПОРОЖСКОГО РЕГИОНА В МЕТАЛЛУРГИИ 308

А.Г. Мешкова, С.В. Кравцов, С.Е. Сулименко НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА 310

В.Л. Найдек, А.В. Наривский, В.И. Курпас, С.Г. Мельник, А.А. Сычевский КОВШЕВАЯ ОБРАБОТКА КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ АКТИВНЫМИ ШЛАКОВЫМИ РАСПЛАВАМИ 312

К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов, Д.П. Васильев, Е.В. Синегин, Л.С. Молчанов. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ 314

К.Г. Нізяєв, О.М. Стоянов, Д.В. Дербеньов, В.В. Черевань. ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЕУТВОРЕННЯ В КИСНЕВОМУ КОНВЕРТОРІ ВЕРХНЬОГО ДУТТЯ 316

К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов, З. Табатадзе, В.В. Черевань. ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПОГРУЖАЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ 318

К.Г. Нізяєв, В.І. Хотюн, О.М. Стоянов. РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛІ ПОРОШКОПОДІБНИМИ МАТЕРІАЛАМИ 320

А.Н. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, Е.В. Синегин О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙ КОСТИ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ 322

В.М. Папуча, С.О. Попов, В.Г. Зюзь ТЕХНОЛОГІЯ ПРЯМОГО ВІДНОВЛЕНЯ ЗАЛІЗА ІЗ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКИМ ВМІСТОМ КОРИСНОГО КОМПОНЕНТУ 323

О.М. Перков, І.О. Вакуленко ВПЛИВ ОПЕРАЦІЇ ВІДПУСКУ НА ВНУТРІШНЮ БУДОВУ КОЛІСНОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ 326

А.Ф. Петров, О.В. Кукса, Л.А. Головко МОДЕЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОКАЛЬЦИЯ СТАНДАРТНЫХ МАРОК 328

А.А. Похвалітий, Є.М. Сігарьов, В.П. Полєтаєв, О.В. Похваліта ВИПУСК ПЛАВКИ З КОНВЕРТЕРА З ОБРОБКОЮ РОЗПЛАВУ АРГОНОМ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ СТАЛЕВИПУСКНОГО КАНАЛУ 330

В.О. Рубан, О.М. Стоянов, К.Г. Нізяєв, Є.В. Синегін ХОЛОДНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ КОВШОВОЇ ВАННИ 332

В.Б. Семакова, В.П. Русских, С.А. Кариков, В.В. Семаков АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ РУДНЫХ НАГРУЗОК ПО РАДИУСУ КОЛОШНИКА ПРИ ЗАГРУЗКЕ ШИХТЫ ЦИКЛАМИ ПОДАЧ ААКК↓ И КААК↓ 334

В.Б. Семакова, И.И. Харченко, В.В. Семаков МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ ЗАГРУЗКИ С ВЫСОКИМИ СЛОЯМИ КОКСА 336

В.О. Синельников, М. Шуцки, Д. Калиш, Р.Д. Куземко МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ШЛАКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КОЛИЧЕСТВА СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЕЛ 338

Є.М. Сігарьов, О.В. Довженко, В.П. Полєтаєв ЗАТЯГУВАННЯ ПОКРИВНОГО ШЛАКУ ДО КІВШОВОЇ ВАННИ 340

Є.М. Сігарьов, Д.С. Кочмола, А.А. Похвалітий ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ БУРУНА НА ПОВЕРХНІ КІВШОВОЇ ВАННИ 342

Є.М. Сігарьов, Д.С. Кочмола ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРУВАННЯ ЗАГЛИБНИХ ФУРМ 344

Є.М. Сігарьов, М.М. Недбайло, А.В. Артамонова ВПЛИВ ДОННИХ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ НА УМОВИ РОЗДУВАННЯ ШЛАКОВОЇ ВАННИ У КОНВЕРТЕРІ 346

Є.М. Сігарьов, Є.В. Ліхачов, П.А. Якунін ПЕРЕМІШУВАННЯ ТА ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ У КІВШОВІЙ ВАННІ 348

Є.М. Сігарьов, О.В. Довженко, В.П. Полєтаєв ВТРАТИ ЗАЛІЗА ЗІ ШЛАКАМИ КІВШОВОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ 350

Є.М. Сігарьов, О.А. Вовк ДО МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ЦІННОСТІ МЕТАЛОБРУХТУ 352

І.Р. Снігура, Д.М. Тогобицька ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ В СИСТЕМІ «МЕТАЛ-ШЛАК» НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ МІЖАТОМНОЇ ВЗАЄМОДІЇ 355

О.М. Стоянов, К.Г. Нізяєв, К.Р. Володько, Є.В. Синегін ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОЗАПІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ 357

А.К. Тараканов, В.В. Ефименко ОПТИМИЗАЦИЯ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ 358

Д.Н. Тогобицкая, Л.С. Молчанов, А.С. Вергун, В.Г. Кисляков, Ю.М. Лихачев ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ БАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О СОСТАВЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ТЕХНОЛОГИИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЗЕРНИСТЫМ МАГНИЕМ 360

Г.М. Трегубенко, Г.А. Поляков, С.М. Підгорний РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕКОНОМІЧНИХ СТАЛЕЙ З КАРБОНІТРИДНОЮ НАНОСТРУКТУРОЮ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ 362

Р. В. Усенко, Е. А. Фролова, С. И. Репях. КЕРАМИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 364

Н. О. Цюпа, Д. О. Степаненко, А. І. Белькова, О. С. Скачко. ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ 365

А.Г. Чернятевич, Л.С. Молчанов, В.В. Вакульчук ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ 367

А.Ф. Шевченко, И.А. Маначин, Б.В. Двоскин, В.П. Петруша ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОЦЕССОВ КОВШЕВОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА ИНЖЕКТИРОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ РЕАГЕНТОВ 369

С.А. Шевченко, В.И. Елисеев, Л.А. Флеер, А.Ф. Шевченко ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ПРИ ИНЖЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВА С ПОМОЩЬЮ ПОГРУЖНЫХ ФУРМ 373

П.О. Юшкевич, Л.С. Молчанов, С.О. Дудченко СУЧАСНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ВЕРХНІХ ФУРМ ДЛЯ ПРОДУВКИ У КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРАХ 376

М.В. Ягольник, Ю.В. Михлик АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗДІЛЬНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ШИХТИ НА ПОКАЗНИКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ 377

UDC 621.771.8

Y. Haranich, Y. Frolov

National Metallurgical Academy of Ukraine (NMetAU), Dnipro

ROLL BONDING OF ALUMINUM COMPOSITE REINFORCED WITH STEEL MESH

Nowadays, a roll boning process is widely used for manufacturing of flat layered metal composites. In the current research direction, it is being investigated roll bonding of layered composite materials that consists of aluminum outer layers and reinforced with meshed austenitic steel inlets.

It was presented in recent years that applying a thin steel layer between aluminum sheets allows increasing the force that is needed to separate layers (Peeling force) during the peeling test [1,2]. Therefore, it is promising to use steel layer not only in order to reinforce aluminum sheet but also in order to enhance bonding properties between layers. At the same time, applying solid steel sheet raises specific weight of a product, hence, using meshed steel material supposed to more perspective.

Such type of reinforced aluminum sheet can be applied in aerospace, automotive, train, ship building, and household industries. However, developing of its manufacturing technology is challenging due to the presence of stress concentration in meshed inlets during the manufacturing process that may result in fracture at the producing stage, therefore, further studying of its manufacturing process and properties is currently actual.

Reinforcement of aluminum alloys with woven austenitic steel mesh by means of roll bonding and twin-roll casting has been studied by Ukrainian, German and Chinese researchers.

It was observed a significant raise of strength of aluminum up to 30 % due to reinforcement phase. At the same time, it is reported in corresponding papers about the presence of intensive deformation at zones with intersecting wires due to the significant reduction of wires [3-6]. Such zones constrain an opportunity of plastic deformation of a composite due to possible destruction of metal which is difficult to control. In addition, intersected wires restrict of metal flow in this region and cause appearance of voids that negatively affect bonding properties as well as strength of material [6].

Thus, in the current research it was decided to use expanded mesh instead of woven one in order to avoid above-mentioned disadvantages. Current research has shown an opportunity to produce such composite material with expanded mesh inlets without any

destruction. Also, advancing of bonding properties between aluminum layers with austenitic steel inlets compared to bonding of two layered aluminum sheets was observed. However, at the current stage there is no exact conclusions about the correlation between types of inlets, technological parameters of manufacturing and peeling force and this is supposed to be studied at further stages.

References

1. *Danesh Manesh H.* Effective parameters on bonding strength of roll bonded Al/St/Al multilayer strips / H. Danesh Manesh, H. Shahabi. // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – №476. – С. 292–299.

2. *Danesh Manesh H.* The effect of annealing treatment on mechanical properties of aluminum clad steel sheet / H. Danesh Manesh, A. Karimi Taheri. // Materials and Design. – 2003. – №24. – С. 617–622.

3. *Huang H.* Mechanical properties and reinforced mechanism of the stainless steel wire mesh–reinforced Al-matrix composite plate fabricated by twin-roll casting [Electronic resource] / H. Huang, J. Wang, W. Liu // Advances in Mechanical Engineering. – 2017. – mode of access: DOI: 10.1177/1687814017716639.

4. Strain parameters at hot rolling of aluminum strips reinforced with steel netting [Electronic resource] / [M. Stolbchenko, H. Makeieva, O. Grydin et al.] // Journal of Sandwich Structures & Materials. – 2018. – mode of access: DOI: 10.1177/1099636218792539.

5. Influence of strain parameters at rolling on the properties of wire-reinforced aluminium composites [Electronic resource] / [Y. Frolov, M. Stolbchenko, O. Grydin et al.] // International Journal of Material Forming. – 2018. – mode of access: https://doi.org/10.1007/s12289-018-1431-6.

6. Roll Bonding of Steel Net-Reinforced Aluminium Strips [Electronic resource] / [M. Stolbchenko, H. Makeieva, O. Grydin et al.] // Materials Research. – 2017. – mode of access: DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0941.

УДК 621(07)

В. Ф. Балакін, Ю. Д. Угрюмов, С. В. Кадильников

Національна Металургійна академія України, м. Дніпро

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК НА ПІЛІГРІМОВОМУ СТАНІ

Металургія є базовою галуззю [української промисловості](), якій належить 23,2% загального обсягу промислового виробництва. Прокатне виробництво є завершальною ланкою металургійного циклу та спрямовано на випуск виробів, які широко використовуються в усіх галузях господарства: сталеві труби різного діаметра, сортовий і листовий прокат, рейки та інше. Україна є відомим у світі виробником труб різного призначення, серед яких переважають труби для транспортування нафти і газу, які виробляються на агрегатах з розкатними станами різного типу: пілігримовими, автоматичними, безперервними та ін.[1].

При прокатці заготовки в трубу на оправці стану особливо важким є період несталого режиму прокатки переднього кінця труби, що обумовлено нестабільністю умов захоплення металу валками, та супроводжується великими втратами металу (2,5-4,0% від маси вихідної заготовки). Для поліпшення умов затравочного режиму прокатки на пілігримовому стані доцільно змінити схему обтиску кінця гільзи профільними бойками, що дозволить виключити кантовку гільзи між суміжними обтисканнями її переднього кінця на оправці і скоротити тим самим тривалість процесу підготовки гільзи.

Раціональна схема обтиску переднього кінця гільзи по її периметру на торці прийнята такою, при якій відношення обтисненої частини до периметру гільзи при деформації першою парою профільних бойків становить 0,4-0,7.Вибір співвідношення обтиснень частини першою парою профільних бойків до периметру гільзи обумовлений наступним.

Зменшення цього співвідношення менше за 0,4 призводить до збільшення периметра необтисненої частини гільзи, що не забезпечить отримання заданої форми підготовленого переднього кінця гільзи за мінімально можливу кількість обтиснень двома парами профільних бойків і збільшить тим самим тривалість процесу підготовки кінця гільзи. Збільшення цього співвідношення більш за 0,7 призводить до значного розширення металу в зазори між бойками при стисненні першою парою профільних бойків, що при стисненні другою парою профільних бойків

призведе до значної нерівномірності деформації і до порушення нормальної роботи на передньому кінці у вигляді тріщин і закатів.

Пристрій для підготовки переднього кінця гільзи перед прокаткою за пропонованим способом містить чотири бойка, кожен з яких закріплений в своєму тримачі. Тримачі взаємно перпендикулярно розміщені в напрямних отворах нерухомого корпусу та притиснуті гайками до плунжеру робочого циліндра. Гайки накручені на кінці штоків зворотних гідроциліндрів, які співвісно розташовані з плунжерними гідроциліндрами. Штоки проходять крізь плунжери з можливістю осьового переміщення.

Передній кінець гільзи обжимается на оправці спочатку першою парою профільних конічних бойків чотирьохбойкового гідравлічного преса (при швидкості бойків v = 0,1 м/с) і співвідношенні обтиснень частини до периметру гільзи 0,52, в результаті цього відбувається витіснення деякого зайвого обсягу металу в напрямку перпендикулярному руху першої пари бойків з потовщенням стінки гільзи на величину Δh_x, яка залежить від умов тертя та є максимальною на передньому торці гільзи і визначається експериментально для реальних умов процесу.

При стисненні переднього кінця гільзи другою парою профільних конічних бойків на оправці в напрямку, перпендикулярному руху першої пари бойків, деформується потовщена частина кінця гільзи, і передній кінець отримує відносно правильну конічну форму. При неможливості отримання правильної конічної форми переднього кінця гільзи здійснюється третє обтиснення першою парою бойків.

Запропонований спосіб підготовки переднього кінця гільзи перед прокаткою дозволяє скоротити тривалість підготовки приблизно в 3 рази, зменшити втрати тепла гільзою перед гарячої прокаткою і вилучити механізм кантування гільзи. Запропонована схема обтиску переднього кінця гільзи на оправці профільними конічними бойками чотирьохбойкового гідравлічного преса забезпечує отримання заданого конічного профілю переднього кінця гільзи без кантування гільзи між проміжними обтисканнями, що скорочує допоміжний час підготовки гільзи на ділянці позастанової зарядки і зменшує тепловтрати гільзи перед пілігримовою прокаткою.

Список літератури

1. Технологія конструкційних матеріалів. Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожницький, О.І. Некоз та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.

УДК 621.746.58

Б. Ф. Белов[1], А. И. Троцан[1], С. Г. Мельник[2], Я. П. Карликова[2], И. В. Паренчук[3]

[1]ИПМ НАН Украины, г. Киев;

[2]ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь;

[3] НПО «Перспектива», г. Запорожье

СПЛАВЫ СИЛИКОКАЛЬЦИЙБАРИЯ ДЛЯ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Для ковшевой обработки стали применяют двойные и тройные славы щелочноземельных металлов, в которых содержание бария регламентируют ТУ0832000-006-311780390-2001 до 30% [1].

Системным классификатором комплексных сплавов является полигональная диаграмма состояния (ПДС) тройной системы Si-Ca-Ba, которая не изучена и является предметом настоящей работы, представленная на рис.1, впервые построенная графоаналитическим методом во всем интервале концентраций твердых и жидких исходных компонентов на базе бинарных систем Si-Ca, Si-Ba и Ca-Ba [2].

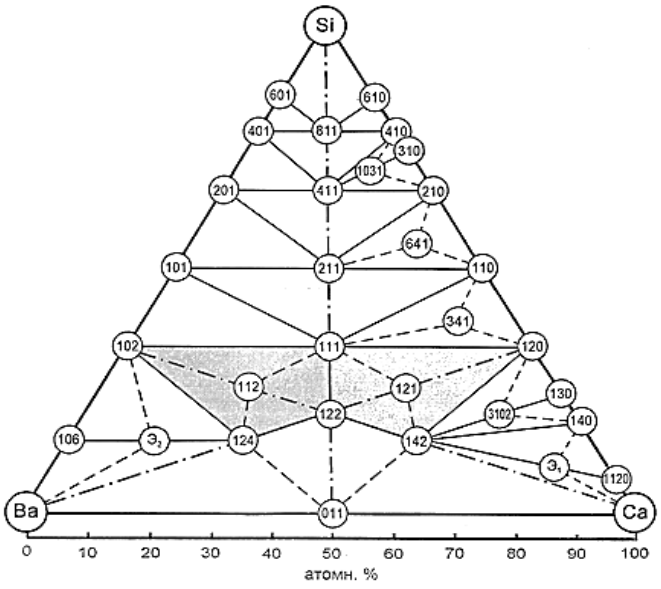


Рисунок – Полигональная диаграмма системы Si-Ca-Ba

ПДС Si-Ca-Ba включает 15-ть промежуточных фаз: 6-первичных, 2-эвтектичных и 7-базовых. Первичные фазы расположены в зоне центрального треугольника, образованного линейными системами бинарных первичных промежуточных фаз. Зона первичных промежуточных фаз $SiBa_2$(102)-Si-$SiCa_2$(120),

зона кальция: $SiCa_2$(120)-Ca-CaBa(011) и зона бария: CaBa(011)-Ba-$SiBa_2$(102). В этих зонах находятся вторичные промежуточные фазы – базовые и эвтектические сплавы. Здесь трехзначные цифры обозначают стехиометрические коэффициенты интерметаллидов: первые цифры – Si, вторые – Ca, третьи – Ba.

Механизм образования первичных неметаллических включений (ПНВ) и их модифицирования (МНВ) при разработке стали сплавами силикокальцийбария марки С35К35Ба30 (Si_6Ca_4Ba) исследован стохастическим анализом [3] последовательного ряда структурно-химических реакций раскисления металлического расплава.

$$2(Si_6Ca_4Ba)_{Me} + 34(O)_{Me} \rightarrow (12SiO_2 8CaO 2BaO)_{ПНВ}$$

$$(12SiO_2 8CaO 2BaO)_{ПНВ} + 8(CaO)_{ТШС} \rightarrow (12SiO_2 16CaO 2BaO)_{МНВ}$$

$$\sum: 2(Si_6Ca_4Ba)_{Me} + 34(O)_{Me}\ 8(CaO)_{ТШС}\ (12SiO_2 16CaO 2BaO)_{МНВ}$$

Анализ материального баланса суммарной реакции раскисления и модифицирования показывает, что при расходе сплава в количестве 1,0 кг/т и 0,50 кг/т извести удаляется 585 ppm кислорода с образованием 2,0 кг/т МНВ, содержащих (масс. %) 37,5SiO_2 + 46,6CaO + 15,9BaO при основности B_0 = 1,24 и B = 1,67, образующих глобули в металле, отвечающих эвтектическому составу типа ранкинит с температурой ликвидуса ~ 1400 °C.

Список литературы

1. *Рябчиков И.В.* Кремнистые ферросплавы и модификаторы нового поколения. Производство и применение / И.В. Рябчиков, В.Г. Мизин, В.В. Андреев // Челябинск. ЮУрГУ. - 2013. - 295 с.

2. *Бєлов Б.Ф.* Метод побудови полігональних діаграм стану потрійних металургійних систем / Б.Ф. Белов, И.Д. Буга, А.И. Троцан та інш. // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №48344 від 18.03.2013.

3. *Бєлов Б.Ф.* Аналіз стохастичних металургійних систем за допомогою балансових рівнянь сумарних структурно-хімічних реакцій / Б.Ф. Бєлов, А.І. Троцан, І.Л. Бродецький та інш. // Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір. – ПА№54359 від 2.04.2014 р.

УДК 669.18

С. Б. Бойченко[1], С. В. Суховецкий[2], Б. М. Бойченко[2], А. Н. Стоянов[2], Е. В. Синегин[2]

[1]Jansen Steel Tubes, Швейцария

[2]Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В СТАЛИ ПРИ ЕЁ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ

Важными для теории и практики становятся закономерности перераспределения кислорода между фазами на каждом этапе вторичной металлургии, изученные непосредственно в производственных условиях. Оно определяет глубину удаления из стали вредных для ее качества примесей, неметаллических включений и газов. Измеренные содержания кислорода целесообразно сравнить с равновесными состояниями, которые могут оказаться легко достижимыми на практике, а их расчет ученными-металлургами освоен.

Ковшевой шлак.

Металлургическую эффективность ковшевого шлака усиливают барботажным перемешиванием содержимого ковша продувкой нейтральными газами, поскольку реакции ускоряются посредством увеличения удельной поверхности взаимодействующих фаз, доставки реагентов к месту реакции в течение короткого промежутка времени.

В ковш при продувке стали аргоном вводом соответствующих материалов формируют шлаки 1-го (лучше) или 2 – го сорта (дешевле) в зависимости от жесткости требований заказчика к содержанию вредных примесей в стали, табл.

Таблица. Химически состав ковшевых шлаков вторичной металлургии

Сорт	CaO	Al_2O_3	SiO_2	MgO	FeO+MnO
1, % мас.	50-58	30-35	5-6	5-7	< 1,0
2, % мас.	50-58	21-26	10-15	8-10	< 1,0

Деоксидация стали

Снижение содержания растворенного в стали кислорода может быть достигнуто диффузионной деоксидацией с помощью формирования шлака с

большой возможностью поглощения кислорода и вследствие падающей температуры и /или осаждающей – добавлением элементов, которые имеют высокое сродство к кислороду [1]. Элементы C, Si, Mn и Al имеют в представленной последовательности более высокое сродство к кислороду по сравнению с железом. С уменьшающейся температурой способности Si, Mn и Al к деоксидации увеличиваются за счет образования твердых или жидких деоксидационных продуктов. Напротив, углерод представляет собой вследствие газообразных продуктов деоксидации CO и CO_2 специальный случай. Влияние углерода в процессе деоксидации увеличивается под вакуумом и /или с повышающейся температурой таким образом, что при температурах свыше 1600^0 С и парциальном давлении 10^{-3} МПа, углерод является более сильным деоксидантом, чем Al.

При анализе состояния равновесия следует принимать во внимание, что элементы деоксидации и кислород находятся в жидкой стали в растворенной форме. По этой причине в расчетах должны быть учтены активности участников реакций и теплота выделения их продуктов [2]. Процесс деоксидации не заканчивается с добавлением деоксидирующих элементов и реакций с растворенным в стали кислородом: со снижением температуры постоянно образуются дальнейшие продукты деоксидации, которые могут быть различными в зависимости от времени их появления. Максимально возможные содержания растворенного в чистом железе кислорода лежат согласно [3] в области температур 1530 и 1700 °C между 1860-2800 ppm. Влияние элементов C, Si, Mn и Al на содержание растворенного в стали кислорода вычисляют по параметрам взаимодействия, определенным в работе [4].

Угар деоксидантов

Элементы C, Si, Mn и Al реагируют с растворенным кислородом плавки. Образованные оксиды удаляются из металла в шлак и все, кроме CO, поглощаются шлаком. Высокое содержание кислорода в стали, значительная удельная поверхность «распушенной» струи металла при выпуске плавки из конвертер и поэтому возможность поглощения кислорода из окружающего воздуха, также попадание конвертерного шлака в кош повышают угар легирующих и деоксидантов.

Целью первоочередных исследований должны быть прослеживание поведения в производственных условиях растворенного в стали кислорода на каждом из этапов вторичной металлургии, определения степени приближения процессов деоксидации к термодинамическому равновесию.

Список литературы

1. *D. Janke, Z. Ma, P. Valentin u. A. Heinen*: Improvement of Castability and Quality of Continuously Cast Steel ISIJ International Vol. 40 (2000), S. 31-39.

2. *S.K. Choundary, S. Chandra u. A. Ghosh*: Thermodynamic Model for Deoxidation Inclusion Precipitation in Liquid Steel Tata Search 2002, S. 95-102.

3. *C.M. Taylor u. J. Chipman*: Gleichgewichte zwischen flüssigem Eisen und einfachen basischen und sauren Schlacken in einem rotierenden Induktionsofen Trans. AIME 154 (1943), S. 228-247.

4. *H. Schenk u. E. Steinmetz*: Wirkungsparameter von Begleitelementen flüssiger Eisenlösungen und ihre gegenseitigen Beziehungen Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1968, S. 818-823.

УДК 669.18

С. Бойченко[1], Я. А. Кириленко[2], Б. М. Бойченко[3], А. Н. Стоянов[3], Е. В. Синегин[3]

[1]Jansen Steel Tubes, Швейцария

[2]Saarstahl AG, Германия

[3]Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

СТЕПЕНЬ ПРИБЛИЖЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕОКСИДАЦИИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ, К ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ РАВНОВЕСИЮ НА КАЖДОМ ИЗ ЭТАПОВ ВТОРИЧНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Опыты проведены в конвертерах ёмкостью 180 т завода «А» на плавках с вакуумированием и без него аналитически близких марок стали 34Cr и 36CrB. Как шлакообразующие использованы изменяющиеся количества извести (с содержанием CaO не менее 95%) и алюмината кальция (25% CaO и 75% Al_2O_3). При выпуске стали из конвертера и далее через каждые 10-15 мин. с помощью автоматического устройства отбирали пробы металла и шлака, измеряли температуру и общее содержание кислорода в стали [O_Σ] анализатором «*Celox*» фирмы «*Electro-Nite*». Составы шлаков изменяли по программе с тем, чтобы проанализировать деоксидацию стали при вариантах обработки металла шлаками, составы которых располагается между составами 1-го и 2-го сорта. Изменяли

соотношение $CaO:Al_2O_3:SiO_2$ в сторону удешевления шлакообразующих материалов путем возрастании содержания SiO_2 (вместо части Al_2O_3) и сохранении соответствия их только основным требованиям.

Температура плавки снижается в течение выпуска стали и обработки её в ковше с 1650 °С до достижения стационарного состояния в промежуточном ковше 1530° С у плавок без вакуумной обработки и с 1700 °С до 1570 °С у вакуумнообработанных плавок.

Долю CaO в ковшевых шлаках при обработке стали выдерживали практически неизменной, на уровне 50 %. Состав ковшевых шлаков исследуемых плавок поддерживали в системе $CaO:Al_2O_3:SiO_2$ в состоянии насыщения CaO и геленитом, что обуславливает их высокие рафинирующие и деоксидирующие свойства [1].

Активность кислорода в стали снижается во время обработки с 75 до 3 ppm. Содержание растворенного кислорода после выпуска стали из конвертера оказалось намного выше, а именно 110 ppm, из-за наличия в ней C, Si, Mn. В дальнейшем $[O]_{раств}$ снижается в результате деоксидации алюминием, уменьшения температуры и составляет в конце «чистой» продувки 10-15 ppm.

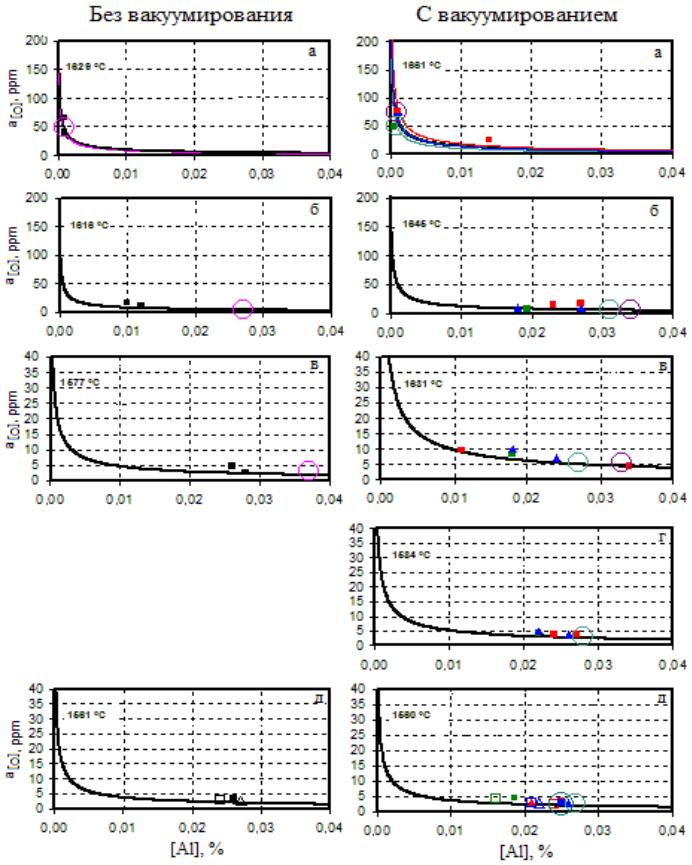


Рисунок 2 – Изменение активности кислорода в зависимости от концентрации алюминия в металле вовремя ковшевой обработки (а – начало продувки Ar; б –

перед вводом Ca; в – после обработки Ca; г – вакуумная обработка; д – «чистая» продувка Ar)

Содержание кислорода в оксидах $[O]_{оксид}$ изменяется от 10 ppm до очень низкого уровня в конце «чистой» продувки (рис.). Ca в составе порошковой проволоки вводили после раскисления и вакуумной обработки и перед «чистой» продувкой для обеспечения чистоты стали по неметаллическим включениям.

При проведении исследований величины [Al], $[O]_{\Sigma}$, $[O]_{раств}$ и [CaO] обеспечены на теоретически обоснованных уровнях, намеченные результаты обработки стали в ковше достигнуты и являются представительными для расчетов термодинамического равновесия.

Содержание кислорода в металле исследованных плавок при протекании процессов вторичной металлургии непрерывно снижается со 130 до 15-20 ppm. Самое интенсивное окисление C, Si, Mn и Al наблюдается после ввода легирующих элементов в течение первых 10 мин. после выпуска стали из конвертера. Согласно расчётам, во второй половине обработки в ковше и во время разливки имеет место незначительная деоксидация стали алюминием вследствие снижения температуры. Даже если на этом отрезке времени из-за реакции обмена меду сталью и шлаком восстанавливается небольшое количество Mn и Si из ковшевого шлака, его состав отается практически постоянным весь период обработки стали в ковше, при этом металлургические реакции протекают в области термодинамического равновесия.

Использование полученных закономерностей позволяет получать заданное содержание алюминия в стали (200 ppm для исследуемого сортамента) и прогнозировать угар раскислителей и легирующих элементов, обеспечивая надежность получения необходимого химического состава тали с высокой степенью чистоты.

Список литературы

1. *B.M.Boychenko, V.B.Okhotskiy, P.S.Kharlashin* Converter steel production: theory, technology, quality of steel, the facilities design, materials recirculation and environmental protection: Textbook.-Donetsk: «Nord-Computer» publishers, 2008. – 407 p.

УДК 669.162

В. В. Бочка, А. В. Сова, А. В. Двоєглазова, М. О. Ващенко

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЯКІСНОГО АГЛОМЕРАТУ

Для отримання якісного агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю, необхідно формувати у ньому блокову структуру з оптимальним мінералогічним складом міжблокової зв'язки, найбільш міцними компонентами якої є ферити кальцію та олівіни низької основності. [1;2]

Формування зв'язки із міцних феритів кальцію та олівінів залежить переважно від основності, та від оптимальних умов контакту компонентів шихти між собою й у взаємодії з вологою. Найбільша кількість залізо-кальцієвих олівінів утворюється при основності менше 0,9-1,0 од., ферити кальцію починають утворюватися при основності більше 1,5 од.. [3]

Вирішення цієї задачі необхідно виконувати на стадії підготовки шихти до спікання. Класична схема підготовки шихти, яка включає в себе дозування, змішування, зволоження та грудкування всіх компонентів не дозволяє отримати високий ступінь однорідності гранул за крупністю та хімічним складом. Це відбувається через недостатнє врахування особливостей поведінки матеріалів при зволожені та грудкуванні, а також через значні коливання розмірів часток агломераційної шихти. Особливо це стосується використання шихт, які містять значну кількість концентрату, крупністю менше 0,1 мм, та крупнозернистих компонентів, таких як залізна руда та зворот.

Це висуває необхідність розробки нових шляхів удосконалення підготовки агломераційної шихти до спікання.

Доведено, що одним із напрямків вирішення цієї проблеми може бути роздільна підготовка шихти з використанням композитів заданого складу та властивостей.

На експериментальній установці кафедри металургії чавуну проведено дослідження способів грудкування агломераційної шихти з використанням попередньо підготовлених композитів на основі концентрату.

Найкраща якість агломерату серед усіх проведених спікань була забезпечена при використанні композиту з «концентрату – руди – вапна – вапняку».

Для покращення ефективності грудкування, прийнято рішення розділити руду на фракції: 0-3 мм, яка подаватиметься до складу композиту, та 3-10 мм, яка буде використовуватися у залишковій шихті.

Підготовка шихти з використанням композиту з «концентрату – руди – вапна – вапняку» дозволяє формувати склад і основність самого композиту та залишкової шихти шляхом зміни вмісту вапняку в них, що впливатиме на розподілення матеріалів у сирих гранулах та на кінцеву структуру агломерату.

Дослідження показали, що найкраща якість агломерату досягається при спіканні шихти, підготовленої з використанням композиту, кількість вапняку у якому забезпечує його основність на рівні 0,9-1,0 од., та залишкової шихти, основністю на рівні 1,6-1,8 од.. Таким чином створюються найбільш сприятливі умови для формування міцної зв'язки з залізо-кальцієвих олівінів та феритів кальцію.

У результаті підготовки шихти з використанням запропонованого композита у порівняні з класичною підготовкою усіх компонентів значно зменшується кількість негрудкованої фракції 0-1 мм та збільшується еквівалентний діаметр гранул; зменшуються показники середньо-квадратичного відхилення та коефіцієнту варіації, що свідчить про отримання більш однорідного гранулометричного складу сирих гранул.

Спікання агломерату показали, що дана технологія характеризується збільшенням виходу придатного агломерату на 10,29 %, збільшенням виходу фракції +5 мм на 11,5% після випробування на міцність та зменшення вмісту фракції 0-5 мм на 11,5%.

Список літератури

1. *Ковалев Д.А.* Теоретические основы производства окускованного сырья: учебное пособие для высших учебных заведений / Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, В.П. Иващенко, Б.П. Крикунов, М.В. Ягольник, М.Н. Бойко – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.

2. *Васильев Г.С. Лившиц Б.А.* О прочности минеральных фаз железорудных материалов / Изв. Вузов. Черная металургия, 1982, №10, С. 41-43.

3. *Ефименко Г.Г.* Металлургия чугуна: учебник для вузов / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. – К. : Вища школа, 1981. – 496 с.

УДК. 691.87:691,714:539.434

І. О. Вакуленко, Д. М. Болотова, О. М. Перков

Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, м. Дніпро

ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ ПЕРЛІТУ НА ВТОМУ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ЗА РІЗНОГО СТУПЕНЯ ЦИКЛІЧНОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

За технологією виготовлення залізничних суцільнокатаних коліс, термічне зміцнення супроводжується формуванням структури вуглецевої сталі примусово за дифузійним механізмом. На підставі цього, товщина феритного прошарку перлітної колонії є основним структурним елементом, який визначає комплекс властивостей металу в елементах колеса. Окрім впливу на межу міцності при втомі, дисперсність перліту суттєво впливає на вигляд самої діаграми циклічного навантаження [1], що набуває визначеного значення, особливо за умов оцінки обмеженої витривалості металевого матеріалу від ступеня циклічного перевантаження. Умовний розподіл кривої втоми на області з мало - та багато цикловою втомою, обумовлений якісними змінами в механізмі формування осередків руйнування металу. Більше цього, зміни в розвитку процесів структурних перетворень на межі переходу від однієї області до іншої, що супроводжуються виникненням достатньо значного розкиду експериментальних даних, суттєво обмежує прогноз стосовно обмеженої витривалості металу при використанні виробу. На прикладі вуглецевої сталі зі змістом вуглецю 0,63% проведено дослідження впливу товщини феритного прошарку перліту (λ) (інтервал 0,14 – 0,5 мкм) на вигляд діаграми циклічного навантаження. Випробування проводилися за схемою знакозмінного згину, при симетричному циклі навантаження. З аналізу діаграм було підтверджено існування аномалії на монотонному ході кривих втоми, розташування якої вважається чутливим фактором до особливостей внутрішньої будови металу, умов циклічного навантаження та ін. [1,2]. В міру збільшення дисперсності перлітної колонії, розташування аномалії по вісі абсцис кривої втоми зсувається у бік зниження величини обмеженої витривалості (N_i), з одночасним зростанням розкиду значень амплітуди циклу (σ_i). Окрім порушення однорідності розповсюдження деформації або зміни активних кристалографічних систем ковзання дислокацій [19], виникнення аномалії вважається

обумовленим зміною напруженого стану металу попереду зростаючої тріщини. На підставі цього, за умов мало циклової втоми повинен реалізуватися плоско деформований стан і область втоми на поверхні руйнування займає відносно не велику площину. Інші умови зростання тріщини втоми виконуються для області багато циклової втоми. На основі аналізу поверхонь руйнування, присутність характерних ознак переміщення і затримки фронту зростаючої тріщини свідчать про формування об'ємного напруженого стану. З метою уточнення механізму впливу дисперсності перлітної колонії на виникнення аномалії на кривій втоми використали дотичну, яку вимірювали на ділянках кривої з різним ступенем циклічного перевантаження металу. Так, за умов необмеженої витривалості, коли $N_i \to \infty$, а $\sigma_i \approx \sigma_{-1}$, де σ_{-1} - межа міцності при втомі, $d\sigma/dN \approx 0$. В міру відхилення від умов необмеженої витривалості, коли співвідношення σ_i доσ_{-1} більше 1, одночасне збільшення σ_i і зменшення N_i будуть послідовно прискорювати зростання абсолютних значень $d\sigma/dN$. За діаграмами циклічного навантаження темп підвищення $d\sigma/dN$ для областей з мало - та багато цикловою

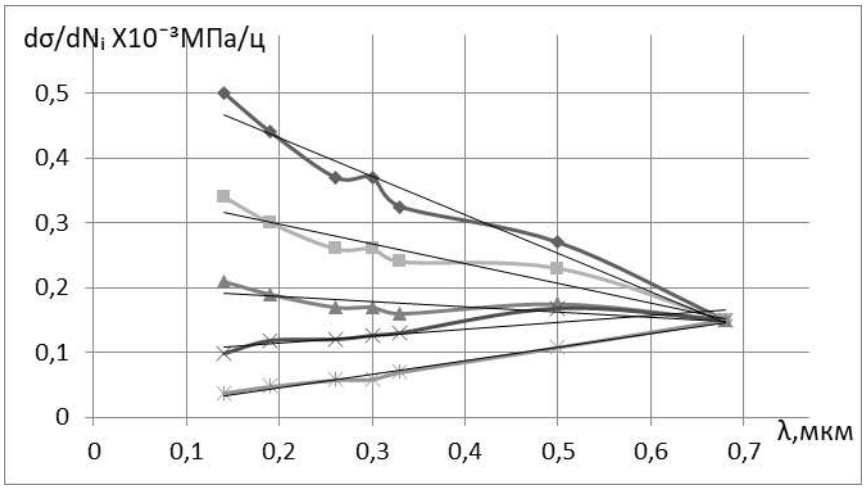


Рис. Залежність $d\sigma/dN$ від λ для різних значень обмеженої витривалості: (◆)-$2 \cdot 10^5$; (■)-$3 \cdot 10^5$; (▲)-$5 \cdot 10^5$; (X)-$6 \cdot 10^5$; (✳)-10^6 ц.

втомою буде різним. Дійсно, починаючи від області з малоцикловою втомою для числа циклів $2 \cdot 10^5$ та $3 \cdot 10^5$ підвищення дисперсності перлітної колонії супроводжується зростанням величини $d\sigma/dN$ (рис.). При цьому, для однакових величин λ пропорційно зменшенню ступеня циклічного перевантаження відбувається

зниження кутового коефіцієнта залежності dσ⁄dN~f(λ). При подальшому збільшенні обмеженої витривалості, наприклад для кількості циклів $5 \cdot 10^5$ починають виконуватися умови переходу від мало до багато циклової втоми. Для області кривих з багато цикловою втомою ($6 \cdot 10^5$; 10^6 ц) залежність dσ⁄dN~f(λ) має вже прямо пропорційний характер. Таким чином, нестабільні умови накопичення дефектів кристалічної будови підчас циклічного навантаження в області переходу від мало – до багато циклової втоми, що підтверджується існуванням розкиду експериментальних значень по амплітуді циклу і обмеженої витривалості при втомі, є результатом сумарного ефекту, що приводить до практично відсутнього впливу. У першому наближенні, характер залежності dσ⁄dN від товщини феритного прошарку перліту, для різного ступеня циклічного перевантаження, повинен визначати стадійність розвитку процесів втоми. Екстраполяція графічних залежностей до взаємного перетинання приблизно співпадає з максимально припустимою товщиною феритного прошарку перліту вуглецевої сталі [3]. Якщо вважати, що за діаграмою циклічного навантаження dσ⁄dN є мірою зменшення амплітуди циклу для збільшення обмеженої витривалості на 1ц, то цілком обґрунтовано існування зв'язку вказаної характеристики з темпом накопичення дислокацій.

Список літератури

1. *Иванов, И. И.* Название статьи / И.И. Иванов // Журнал. – год. – №. – С. Х-Х.

1. *Гуревич, С. Е.* Исследование некоторых закономерностей рассеяния энергии при усталости в зависимости от уровня приложенного напряжения / С.Е. Гуревич // Усталость металлов и сплавов. М.: Наука. – 1971. - С.23-31.

2. *Трощенко В. Т.* Усталость и неупругость металлов / В.Т. Трощенко // К.: Наукова думка,. – 1971. - 268с.

3. *Гриднев, В. Н.* Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В.Н. Гриднев, Гаврилюк В.Г., Мешков Ю.Я. // К.: Наукова думка, - 1974. - 232с.

УДК 669.245.018.044:620.193.53

А. А. Глотка, С. В. Гайдук

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Упрочнение γ′-фазой обеспечивает длительное сохранение высокой температурной работоспособности сплавов данного класса в широком интервале температур, вплоть до 1150°С [1]. Следовательно, важнейшая роль в сопротивлении высокотемпературной ползучести монокристаллических ЖНС принадлежит, таким структурно-фазовым характеристикам, как период кристаллических решеток γ- и γ′-фаз и их размерное несоответствие δ или γ/γ′-мисфит, который рассчитывается по формуле $\delta = 2\cdot((a_{\gamma'} - a_{\gamma})/(a_{\gamma'} + a_{\gamma}))\cdot 100\%$, где a_{γ} и $a_{\gamma'}$ – периоды решеток γ- и γ′- фаз, соответственно [2].

В результате анализа и обработки экспериментальных данных предложено соотношение легирующих элементов $K_{\gamma'} = \frac{\sum_{\gamma'} (Al+Ti+Nb+Ta+Hf)}{0,2 \sum_{\gamma} (Cr+W+Mo+Re+Co+Ru)}$ (калибровочный коэффициент 0,2 был определен эмпирическим путем) для оценки механических свойств, которое учитывает комплексное влияние основных компонентов сплава. Поскольку размерное несоответствие параметров решетки связано со степенью концентрационного твердорастворного упрочнения γ- и γ′-фаз, эффективностью дисперсионного упрочнения сплава, скоростью ползучести и другими свойствами монокристаллов, то соотношение $K_{\gamma'}$ позволяет связать эти свойства с многокомпонентными системами.

Установлено, что зависимость предела ($\sigma_в$) кратковременной прочности сплавов от величины мисфита оптимально описывается логарифмической зависимостью: $\sigma_в$=-52,32ln(δ)+1179,9 с относительной погрешностью ±3,74%. Для монокристаллических ЖНС увеличение значения мисфита сопровождается снижением предела их кратковременной прочности, поскольку между кристаллическими решетками γ- и γ′- фазы образуются значительные напряжения, которые способствуют процессам структурной и фазовой нестабильности, что приводит к преждевременному разрушению материала. Показано, что при температуре испытаний 1000°С, зависимость пределов 100- и 1000- часовой

длительной прочности от величины мисфита оптимально описывается полученными моделями: σ_{100}^{1000}=587,7δ^2+347,96δ+269,65 с относительной погрешностью ±3,46%; σ_{1000}^{1000}=561,4δ^2+276,64δ+174,65 с относительной погрешностью ±3,6%. Эти зависимости показывают, что при температуре 1000°С, значение размерного несоответствия близкому к нулю, сплавы имеют лучшие показатели длительной прочности. Исходя из выше рассмотренных зависимостей, можно сделать вывод, что при разработке новых сплавов или совершенствовании составов известных промышленных марок данного класса, нужно закладывать высокие значения мисфита при комнатной температуре. Это связано с тем, что с повышением температуры изменятся размерное несоответствие параметров решеток γ- γ'- фаз и при температуре эксплуатации желательно иметь величину мисфита близкой к нулю, что снизит когерентные напряжения и обеспечит улучшение структурно-фазовой стабильности, а, следовательно, повысится длительная прочность.

Связь объемной доли γ'- фазы, пределами кратковременной и длительной прочности с предложенным соотношением $К_{\gamma'}$ для класса монокристаллических ЖНС адекватно описываются полученными регрессионными моделями:

$$\sigma_в=57,414\ К_{\gamma'}+1030,1;$$

$$V_{\gamma'}^{20}=3,2607\ К_{\gamma'}+62,481$$

$$\sigma_{100}^{1000}=14,303\ К_{\gamma'}+201,11$$

$$V_{\gamma'}^{1000}=3,6597\ К_{\gamma'}+43,551$$

Таким образом, полученные модели могут применяться для расчетов при прогнозировании механических свойств многокомпонентных никелевых систем (монокристаллических ЖНС) на основе их химического состава.

Список литературы

1. *Киселев Ф.Д.* Исследование структуры материала рабочих лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей в процессе эксплуатации/ Ф.Д. Киселев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.- 2018.- №2.- С.28-37.

2. *Протасова Н.А.* Размерное несоответствие периодов кристаллических решеток γ- и γ′ -фаз в монокристаллах жаропрочных никелевых сплавов / Н.А. Протасова, И.Л. Светлов , М.Б. Бронфин // Физика металлов и металловедение.- 2008.- №5.- С.512-519.

УДК 669.017

А. В. Глушко, Ю. В. Рябець

Національний Технічний Університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОСТІЙКИХ ПЕРЛІТНИХ СТАЛЕЙ У СУЧАСНОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ОБЛАДНАННІ

Для паропроводів теплових електростанцій і елементів їх систем використовують переважно теплостійкі перлітна сталі 12Х1МФ і 15Х1М1Ф. В енергоблоках ТЕС, потужністю 100,150, 200, 300, 500 і 800 МВт, елементи котлів і стаціонарних паропроводів, а також самі паропроводи, виготовляють переважно із безшовних катаних, пресованих або волочильних труб із сталей наведених марок [1].

Сталі 12Х1МФ і 15Х1М1Ф використовують у термічно-зміцненому стані. Труби зі сталі 12Х1МФ підлягають нормалізації з відпуском, а ті труби, що мають товщину стінки більшу за 45 мм піддають загартуванню з відпуском]. Труби, які виготовляють зі сталі 15Х1М1Ф, підлягають тільки нормалізації з відпуском. Термічна обробка забезпечує отримання необхідної жароміцності та відповідних механічних властивостей сталей.

Труби для колекторів та паропроводів, зі сталей 12Х1МФ і 15Х1М1Ф, що не мають швів, виготовляють відповідно положень ТУ 14-3-46075. Максимальне нагрівання таких труб не повинно перевищувати 570˚С. Із сталей 12Х1МФ і 15Х1М1Ф, згідно ОСТ 108.030.113-77, виготовляють поковки, максимальна гранична температура експлуатації яких не повинна перевищувати, відповідно 570˚С і 580˚С. Також зі сталі 15Х1М1ФЛ(ТУ-108.874-95) виготовляють у відповідності до ТУ 108.874-95 центробіжні труби з діаметром 630 і 920 мм, і товщиною стінки 25-32 мм. Труби для енергоблоків ТЕС зарубіжних країн також виготовляють із близьких за хімічним складом та структурою сталей. Передбачено обмеження тиску пару, а також температури експлуатації паропроводів. Перевищення параметрів експлуатації може суттєво прискорити руйнування не тільки паропроводів, а в першу чергу їх зварних з'єднань.

Перелік посилань

1. *Патон Б.Е.* Современные направления исследования и разработок в области сварки и прочности конструкций / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10-11. – С. 7–22.

УДК 669.15-194

А. М. Гришин, Е. С. Зыкин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОХРОМИСТЫХ ЛЕГИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Проведен термодинамический анализ системы Cr – O – C в температурном диапазоне 1000…1500°C, позволяющий уточнить возможные пути развития углетермического восстановления Cr_2O_3 с образованием стабильных и неустойчивых твердых продуктов при различных соотношениях C/O в шихте. Проанализированы термодинамические и структурные сдвиги, вызываемые присутствием железа в реагирующей системе. Рассмотрены имеющиеся возможности снижения содержания углерода в твердых продуктах восстановления.

Экспериментально исследована кинетика восстановления Cr_2O_3 в присутствии железа. Выявлены особенности влияния железа, введенного в шихтовую смесь в металлической форме и в виде оксида, на развитие процесса при различных температурах и на отдельных этапах восстановления Cr_2O_3. Развиты представления о механизме влияния Fe на скоростные закономерности и глубину восстановления хрома из оксидной фазы.

Исследованы процессы упрочняюще-восстановительного обжига окускованных оксидно-углеродистых шихт на базе Cr_2O_3 и хромовой руды самостоятельно и с добавками железа в шихтовую смесь. Ввод Fe в металлической форме и в виде магнетитового концентрата ускоряет восстановление хрома и увеличивает глубину развития процесса при неизменном содержании углерода в окускованных образцах. Одновременно создаются условия для существенного обезуглероживания полученного твердого продукта.

Результаты выполненных в работе теоретических и экспериментальных исследований явились физико-химической основой для разработки технологической схемы получения железохромистых легирующих материалов в твердом состоянии. Процесс может быть осуществлен путем углеродотермического или комплексного восстановления брикетов на основе богатой хромовой руды (концентрата) с добавкой в шихту металлического железа или магнетитового концентрата глубокого

обогащения при атомном соотношении Fe/Cr ≥ 1 и температуре 1300…1400°C. Комплексное восстановление целесообразно осуществлять в потоке продуктов паровой конверсии природного газа.

УДК 669.112.2:669.26

А. М. Гришин, И. С. Щеглова, **А. А. Надточий**

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ВЛИЯНИЕ $Fe_{мет}$ НА КИНЕТИКУ ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМА С УЧАСТИЕМ КАРБИДА

В работе выполнен термодинамический анализ основных реакций в системах Cr – O – C и Cr – Fe – O – C, протекающих с образованием металлической и карбидных фаз различного состава. Определены температуры начала восстановления хрома из его оксида, а также железа и хрома из хромита Cr_2FeO_4 в условиях образования металлического продукта и карбидов при использовании в качестве восстановителей твердого углерода, Cr_3C_2 и Cr_7C_3.

С применением термогравиметрии исследована кинетика углеродотермического и комплексного восстановления Cr_2O_3 и хромовой руды с вариациями соотношения компонентов шихты, вида твердого углерода, использованием сыпучих и окускованных шихтовых смесей. Установлено, что брикетирование образцов слабо отражается на скоростных характеристиках процесса. Сохраняется позитивное влияние роста доли $C_{тв.}$ в шихте и перехода от углеродотермического к комплексному восстановлению в потоке H_2.

Исследования показали, что присутствие металлического железа ускоряет восстановление Cr_2O_3 карбидом хрома и увеличивает глубину развития процесса. Одновременно происходит определенное снижение углерода в конечном продукте восстановления.

Расчеты, выполненные на основе литературных данных и полученных в настоящей работе, показали, что участие паров Cr_2O_3 и карбидов хрома не играет ведущей роли в механизме твердофазного восстановления оксида хрома углеродом. Непосредственное взаимодействие твердых реагентов может заметно сказываться лишь в начальном периоде процесса. Решающий вклад в кинетические

закономерности углеродотермического восстановления Cr_2O_3 вносит газовая фаза CO – CO_2 в соответствии с двухзвенной схемой А.А. Байкова. Принципиальная возможность реализации этой схемы подтверждена выполненными расчетами.

УДК 669.787:621.783.223.2:621.181

Е. В. Гупало, А. О. Ерёмин, Е. А. Каракаш

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ МЕТАЛЛУРГИИ

Одним из эффективных способов повышения энергоэффективности металлургических тепловых агрегатов является использование технологического кислорода для сжигания топлива. При этом кислород может использоваться либо в качестве окислителя при реализации технологии газо-кислородного сжигания топлива, либо для обогащения воздуха горения.

Зарубежными и отечественными компаниями разработаны горелки, реализующие технологию газо-кислородного сжигания топлива, применение которой обеспечивает значительное уменьшение объема продуктов сгорания, увеличение температуры горения топлива и излучательной способности факела, и, как следствие, повышение производительности тепловых агрегатов на 25 – 50 % и экономию топлива в зависимости от конкретных условий производства в диапазоне 30 – 60 % [1]. Сдерживающими факторами применения этой технологии является необходимость реконструкции тепловых агрегатов, предусматривающей замену горелок и модернизацию вспомогательного оборудования.

В то же время, обогащение воздуха горения технологическим кислородом может быть с успехом реализовано в нагревательных печах и котлах ТЭЦ отечественных предприятий, поскольку его внедрение не требует существенных капитальных затрат и, при определенных условиях, оно может быть реализовано без замены горелочных устройств. По сравнению с газо-кислородным сжиганием топлива, увеличение доли кислорода в воздухе горения мало сказывается на изменении производительности тепловых агрегатов, однако довольно сильно влияет на их энергоэффективность [2].

Авторами работы предложена комплексная методика оценки эффективности и экономической целесообразности использования кислорода в нагревательных устройствах металлургических предприятий, которая включает:

– расчеты процессов горения топлива и определение теплотехнических показателей топлива при изменении содержания кислорода воздухе горения в диапазоне 21 – 100 %;

– анализ состава продуктов сгорания, удельных расходов атмосферного воздуха и выхода дымовых газов, теплотехнических показателей топлива в зависимости от условий его сжигания (температур подогрева воздуха и топлива, степени утилизации теплоты уходящих газов, избытка воздуха, подаваемого на горение и др.);

– определение экономии топлива при обогащении воздуха горения кислородом и удельного расхода технологического кислорода, обеспечивающего экономию 1 $м^3$ топлива;

– обоснование максимальной стоимости технологического кислорода, при которой его применение экономически целесообразно в конкретном тепловом агрегате;

– расчет ожидаемого экономического эффекта от использования кислорода для замены или обогащения воздуха горения.

С использованием разработанной методики выполнены исследования эффективности использования кислорода для обогащения воздуха горения паровых котлов ТЭЦ и методических печей, обслуживающих мелкосортные станы. Исследования выполнены для работы тепловых агрегатов на доменном, коксовом, природном и смешанном газе (природно-коксодоменной смеси с теплотой сгорания 13,9 МДж/$м^3$).

Как показали исследования, для рассматриваемых тепловых агрегатов, увеличение содержания кислорода в воздухе горения до 31 % не приводит к нарушению работы горелочных устройств, а, следовательно, не требует их замены и связанных с этим капитальных затрат. При этом эффективность применения технологического кислорода в методических печах значительно выше, чем в котлах ТЭЦ. Так, экономия топлива в методических печах достигает 10,5–13,7 %, в то время как в котлах ТЭЦ она не превышает 1,7 %. В то же время расход технологического кислорода, обеспечивающий экономию 1 $м^3$ газа для котлов ТЭЦ в 7,7–13 раз больше, чем для методических печей.

Список литературы

1. *Карп, И. Н.* Использование кислорода и обогащенного кислородом воздуха в нагревательных печах, колодцах, стендах разогрева сталеразливочных ковшей / И. Н. Карп, А. Н. Зайвый, Е. П. Марцевой, К. Е. Пьяных // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – № 3. – С. 18–29.

2. *Гупало, О. В.* Дослідження теплової роботи кільцевої печі за збагаченням повітря горіння технологічним киснем / О. В. Гупало, О. О. Єрьомін // Металургія : зб. наук. пр. ЗДІА. – Запоріжжя : ЗДІА, 2016. – Вип. 2 (36). – С. 87–92.

УДК 621.745.35

І. В. Дерев'янко, О. В. Жаданос, С. М. Підгорний

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ВИПЛАВКА СИНТЕТИЧНИХ ЧАВУНІВ НА ШИХТІ, ЩО МІСТИТЬ ВУГЛЕЦЬ-КАРБІДКРЕМНІЄВІ МАТЕРІАЛИ

Синтетичний чавун (СиЧ), як правило, виплавляють в індукційних печах (ІП) використовуючи 50…70% (в деяких випадках до 100%) сталевого брухту, 30…50% доменний чавуну або повернення власного виробництва, а для навуглецювання розплаву застосовують графіт, ливарний або доменний кокс. Для отримання чавуну, стандартного за вмістом Si, його легують феросиліцієм.

Якість і собівартість отриманого чавуну безпосередньо залежить від якості і вартості шихтових матеріалів, а також кількості і ціни споживаної електроенергії. Щоб отримати в ІП якісний чавун необхідно застосовувати для плавки рафіновані чушкові чавуни. Альтернатива рафінованим чавунам - застосовувати в шихті збільшену кількість сталевого брухту.

Сталеві відходи - якісніші матеріали, ніж ливарні і переробні чавуни, але їх застосування вимагає навуглецювання розплаву. Недоліки виплавки СиЧ в ІП, з використанням в шихті карбюризатора і феросиліцію: перегрівання металу, схильність чавуну до відбілу, перевитрата навуглецьовувача і феросиліцію, зниження стійкості футерування.

Розроблена технологія з залученням до процесу карбідкремнійвміщуючих матеріалів дозволяє виплавляти Fe - C - сплави із заданими властивостями і

марочним вмістом Si і C, з можливістю гнучкого коригування його хімічного складу на різних етапах плавки. У основі технології - властивості матеріалів, вживаних для виготовлення металургійних сумішей з вуглець-карбідокремнійових матеріалів (CSiC - сумішей). Карбід кремнію містить менше неметалічних включень і домішок кольорових металів, ніж феросиліцій. Введення в розплав SiC, спільно з термічно обробленим вуглецевим матеріалом забезпечує процес навуглецювання. При цьому, підвищується графітизуюча здатність чавуну, знижується кількість кисню у шлаку і зменшується схильність чавуну до відбілу. Одночасно відбувається відновлення оксидів заліза шлаку, що сприяє формуванню розсипчастих шлаків в період плавки і зниженню загального вигару легуючих елементів.

Процес розчинення зерен SiC проходить дуже швидко (1…2 хв.) при 1250^0C, Si утворює з Fe розчин, і вуглець, що дифундував, виділяється у вигляді вторинного графіту. Ця властивість SiC впливає: на збільшення числа зародків графіту і забезпечує отримання дрібнодисперсного, рівномірно розподіленого по металевій матриці графіту, зниження температури евтектичного переохолодження чавуну покращує графітизуючі властивості СиЧ і підвищує його механічні характеристики.

Введення 2...8% сумішей ВККМ (від маси рідкого металу) дозволяє понизити відбіл, поліпшити структуру чавуну і підвищити його рідкотекучість. Виділення тепла при розчиненні SiC також сприяє якнайповнішому засвоєнню вільного вуглецю, що знаходиться в суміші, і компенсує теплові втрати розплаву на його засвоєння.

У ІП середньої і високої частоти результати засвоєння компонентів суміші склали, відповідно: 90…95 і 85…92% по «Si», 82…86 і 75…82% по «C», що обумовлено нижчою в ~ 1,7-2,5 і 5-8 разів, відповідно, в порівнянні з печами промислової частоти, інтенсивністю електро-магнітного перемішування.

Отримані результати обумовлені залежністю швидкості руйнування зв'язків між атомами в гратах SiC, шляхом обмивання шарів Si і C рідким металом, від інтенсивності ЕМ-перемішування металу в печі. В усіх випадках був виплавлений СиЧ із заданою структурою і механічними властивостями. У структурі металу отриманий дрібнодисперсний, рівномірно розподілений пластинчатий графіт, що забезпечило підвищення механічних властивостей СиЧ на 10...15%.

Введення в завалку у складі шихти сумішей ВККМ дозволяє отримувати СиЧ заданих марок, по структурі і механічним властивостям що не поступаються зарубіжним аналогам.

УДК 669.184.244.66.001.57-52

К. В. Єгоров, В. С. Богушевський

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ ТА КОРЕГУВАННЯ ПЛАВКИ

Сучасний киснево-конвертерний цех являє собою складний і оснащений різноманітним обладнанням комплекс взаємопов'язаних будівель і споруд, в якому здійснюють зберігання запасу шихтових матеріалів, подачу і завантаження їх в конвертер, виплавку і розливання сталі, прибирання продуктів плавки. Цех включає ряд основних виробничих і допоміжних відділень, розташованих або в окремих будівлях, або в прольотах одного будинку. Строго кажучи, конвертер не є плавильною піччю. По-перше, в конвертер не подається паливо, а, по-друге, вихідний матеріал майже весь вже розплавлений (нагадаємо, що плавильна піч – це піч для перетворення будь-яких матеріалів в рідкий стан ...). Таким чином, конвертер за своїми ознаками є установкою позапічної обробки з продувкою окислювальним газом. Пропонується вважати паливом домішки, що містяться в чавуні. Тоді питома витрата умовного палива складе (при 79% рідкого чавуну, 21% брухту) приблизно 30-35 кг у.п. / т сталі.

Тривалість допоміжних операцій завалювання і прогріву брухту (при роботі з підвищеною витратою брухту), заливки чавуну, відбору проб і вимірювання температури металу, очікування аналізу, зливання металу і шлаку, обробки і закладення сталевипускного отвору) визначається масою плавки, параметрами устаткування обслуговуючих конвертер і технології ведення плавки. З цього випливає, що при проведенні конвертерного процесу необхідні безвідмовно діючі датчики для визначення маси заливання чавуну, зважування брухту і шлакоутворюючих, вимірювання температури і складу газів, що відходять, витрати кисню, що подається для продувки металу. Якщо в цеху забезпечена абсолютна стандартність від плавки до плавки складу шихти і температури рідкого чавуну і встановлені надійні пристрої, що забезпечують точність зважування матеріалів, то, провівши попередньо розрахунки з визначення кількості кисню, необхідного для

окислення домішок і кількості виділеного при цьому тепла, контролювати процес плавки , знаючи лише кількість витраченого на продувку ванни кисню (а при постійній витраті кисню – за часом). Необхідно провести серію контрольних плавок для уточнення даних про режим шлакоутворення і встановлення кількості заліза, що переходить в процесі плавки в шлак і видаляється з газами, що відходять.

Одним з основних параметрів плавки, що контролюються є концентрація в ванні вуглецю. Отримання безперервної інформації про кількість окисленого вуглецю можливо в тому випадку, якщо точно відома маса і склад металевої шихти на початку операції і склад та кількість газів, що відходять. Маючи точні дані про кількість виділених газів і їх склад, можна складати миттєві баланси і в будь-який момент плавки знати, скільки вуглецю залишилося в ванні. Однак внаслідок важких умов експлуатації датчиків в зоні високих температур і великої запиленості газів, що відходять з плавильним пилом дані про склад і кількість газів недостатньо надійні, щоб ними можна було користуватися для визначення моменту закінчення продувки. При проектуванні систем контролю і регулювання доводиться враховувати, що на практиці від плавки до плавки змінюються склад чавуну, брухту (звичайно відомий приблизний склад) і додаткових матеріалів. По ходу кампанії змінюються (в зв'язку із зносом) і розміри конвертера, відповідно змінюється кількість тепла, акумульованого кладкою, втрати тепла через кладку, поверхня ванни металу (у міру зношування футеровки поверхню ванни при незмінній масі металу зростає, а глибина ванни зменшується), змінюються умови підсосу в порожнину конвертера атмосферного повітря. У зв'язку з цим системи автоматичного контролю за ходом конвертерної плавки поки ще не завжди дозволяють повністю відмовитися від візуального контролю (яскравість факела газів, що відходять, характер іскор що вилітають і т. п.) і від відбору проб металу і виміру його температури. Відбір проб і вимірювання температури можна проводити як при повалці конвертера (попередньо для цього припиняють продувку і піднімають фурму), так і без припинення продувки і повалення конвертера.

Список літератури

1. Керування киснево-конвертерною плавкою в замкненому режимі / В.С. Богушевський, С.В.Жук, Є.К.Бондаренко, О.О.Капусняк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5. – С. 76 – 83.

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

3. http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/Tehnologiya_metalla_i_svarki/glavnaja.htm

УДК 621.785.72:621.783.224.001.76

І. І. Іванов

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ТЕХНОЛОГІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ НАГРІВОМ МЕТАЛУ В ЕЛЕКТРОКОЛОДЯЗЯХ

У колесопрокатному цеху ВАТ Інтерпайп НТЗ відпустка кілець та бандажів після гарту виконується в електроколодязях при температурі 480 - 540 °С стопами висотою до 3 м на протязі 4,5 – 6 год. Електроколодязі по висоті розділені на три зони регулювання температури з потужністю ніхромових нагрівачів 177 кВт у кожній. Після завантаження металу з температурою 290 – 310 ^{o}С нагрів ведеться при максимальній потужності до заданої температури, після чого вона стабілізується. Основним недоліком процесу є низька енергоефективність. Після короткочасного періоду підйому температури з максимальним тепловим потоком на метал потужність нагрівачів і температура їх істотно знижуються. Відбувається різке падіння теплового потоку і значне зменшення швидкості нагріву. У період витримки, що досягає 80 - 90% від загального часу нагріву, лише незначна частина енергії йде на нагрів металу, а основна її кількість витрачається на покриття тепловтрат.

З метою зниження енерговитрат і скорочення тривалості нагріву запропоновано здійснювати відключення нагрівачів зон електроколодязя в період витримки при перевищенні на 5 °С заданої температури і включення їх на максимальну потужність при зниженні її на 5 °С нижче заданої. Порівняльні випробування базового і удосконаленого режимів управління нагрівом виконувалися при нагріванні стоп з 12 кільцевих виробів діаметром 1060 мм і товщиною стінки 95 - 98 мм з середньовуглецевої сталі (С = 0,61%). Маса садки становила 6,96 т, задана температура в зонах 520 °С відповідала технологічній температурі відпустки металу 500 - 510 °С. Посад проводився в електроколодязі після видачі з них металу

поточних плавок при температурі в робочому обсязі 520 ± 5 °С. Температура металу в процесі нагріву контролювалася через кожні 5 - 10 хв хромель-алюмелевими термопарами, встановленими на трьох рівнях стопи: між першим і другим, шостим і сьомим, одинадцятим і дванадцятим кільцями.

При нагріванні холодної садки за існуючою технологією температура верху, середини і низу стопи досягала 500 °С через 5 год 35 хв; 6 год 05 хв і 6 год 30 хв відповідно; при запропонованому імпульсному управлінні нагрівом - через 3 год 10 хв, 4 год і 4 год 05 хв. Спостерігалося істотне зменшення різниці температур по висоті стопи в період нагріву. Зміна теплової потужності зон свідчить, що імпульсний режим характеризується більш форсованою роботою нижньої і середньої зон в перші 2 - 2,5 год після посада при практично незмінній споживаній потужності в кінці нагріву. Витрата електроенергії при цьому склала у верхній зоні 386,7 і 288 кВт-год; в середній 550,5 і 456,9 кВт-год; в нижній 573 і 453,3 кВт-год відповідно при базовій технології та імпульсному нагріві.

Середній тепловий потік на метал при цьому збільшується з 3,88 до 6,15 кВт/м^2, ККД підвищується з 33,2 до 41,9%, питома витрата енергії знижується з 781,2 до 619,7 кДж/кг.

Якщо прийняти за початок відліку періоду нагріву під відпустку час досягнення 300 °С самої "відсталої" точки садки, то тривалість базового і імпульсного нагріву можна оцінити як 4 год 40 хв і 2 год 45 хв. За базової технології витрата енергії у верхній, середній і нижній зонах за цей період склала відповідно 796, 1181 і 1269 МДж; середній тепловий потік 1,96 кВт/м^2, ККД агрегату 20,3%, питома витрата енергії 466,5 кДж/кг. При імпульсному режимі за період підйому температури з 300 ^{o}С до 500 ^{o}С витрата енергії по зонах 553, 932 і 891 МДж; середній тепловий потік 3,51 кВт/м^2; ККД 29,3%, питома витрата енергії 371,4 кДж/кг.

Для більш точного урахування умов діючого виробництва дослідну садку попередньо нагрівали в окремому колодязі до температури кінця гарту, після чого здійснювали її пересадку на нагрів під відпустку. При імпульсному режимі порівняно з базовим також спостерігалася більш форсована робота нижньої і середньої зон в перші 2 год нагріву, скорочення часу нагріву з 4,5 до 3 год при практично однакових температурних перепадах по висоті садки. Енерговитрати на нагрів за запропонованою технологією в порівнянні з існуючою знизилися з 3658 до 2702 МДж, в т.ч. у верхній зоні з 955 до 698 МДж, в середній з 1350 до 1055 МДж і нижній зоні з 1343 до 959 МДж. Питома витрата енергії на нагрів знизилася з 525,6 кДж/кг до 388,2

кДж/кг, ККД збільшився з 20,5 до 27,9%, а середній тепловий потік з 2,32 до 3,48 кВт/м^2.

Таким чином, удосконалення управління нагрівом металу після гарту у відпускних електроколодязях дозволяє скоротити тривалість циклу термообробки на 20 - 25%, знизити енерговитрати на 18 - 20%, підвищити ККД агрегатів на 7 - 9%.

УДК 669.162.1:632.15:504.064.4

І. І. Іванов

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ДІОКСИНІВ ТА ФУРАНІВ В АГЛОМЕРАЦІЙНОМУ ПРОЦЕСІ

Однією з глобальних екологічних проблем є забруднення навколишнього середовища стійкими органічними забруднювачами, найбільш небезпечними з яких є діоксини і фурани. Ці поліхлоровані поліциклічні сполуки, що утворюються при взаємодії хлору з органічними речовинами при нагріванні, нерозчинні у воді, мають високу адгезію і хімічну стійкість; період напіврозкладу їх 10 – 15 років на поверхні грунту і 25 – 100 років на глибині [1]. Вони є ксенобіотиками і кумулятивними отрутами, мають потужну мутагенну, канцерогенну, тератогенну, ембріотоксичну, іммунодепресантну дію; їх ще називають хімічним СНІДом. Період напіввиведення діоксинів з організму становить близько 7 років; лише 10% їх піддається метаболізму. ГДК діоксинів у повітрі $5\cdot10^{-10}$ мг/м^3, у воді - $5\cdot10^{-8}$ мг/л, у грунті - $1\cdot10^{-8}$ мг/кг, у той час як у бенз(а)пірена і ртуті ті ж показники $1\cdot10^{-6}$ і $3\cdot10^{-4}$ мг/м^3, $5\cdot10^{-6}$ і $5\cdot10^{-4}$ мг/л, 0,02 і 2,1 мг/кг [2]. Найбільш токсичними з них є 2,3,7,8-тетрахлордібензофуран і 2,3,7,8-тетрахлордібензо-n-діоксин, відносно якого визначають токсичний еквівалент будь-якої суміші.

Половина викидів цих суперекотоксикантів з'являється при спалюванні побутових і медичних відходів, решта належить промисловості. Металургійні підприємства і прилеглі до них території є зоною підвищеної діоксинової небезпеки. Найпотужнішим джерелом емісії діоксинів/фуранів в металургії є агломашини; на їх частку припадає понад 80% річного викиду. Питомий вихід цих речовин становить 0,55–4,14 нг/кг агломерату [3]; їх вміст у аглогазах 1-10 нг/м^3 при нормах ЄС до 0,1

нг/м^3. Джерелами утворення діоксинів/фуранів є органічні сполуки аглошихти і хлор, що присутній (до 0,01%) у вугільному паливі, руді, флюсах у вигляді NaCl, KCl та ін. Додавання у аглошихту замасленої прокатної окалини, поліхлорвінілу покриттів і упаковок, де 57% хлору, наявність каталізаторів, таких як мідь, у багато разів збільшують вміст діоксинів у газах.

Обмеження щодо використання в шихті забрудненої окалини, води з підвищеним вмістом хлоридів, пилу з очисних апаратів, виключення з її складу полімерних покриттів, плівок, нафтопродуктів, інших джерел утворення діоксинів дозволяє скоротити викиди діоксинів/фуранів на 50-70%. Важливим напрямом є удосконалення існуючих систем газоочистки, які вловлюють до 60 % діоксинів. У країнах ЄС обов'язковим є застосування на агломашинах ефективних електрофільтрів і окислювальних каталітичних конвертерів. Термічне знешкодження діоксинів/фуранів до CO_2 і H_2O проводять шляхом допалювання технологічних газів при температурі 1100–1300 ^oC. Для попередження зворотного процесу їх утворення продукти допалювання "загартовують" зрошенням водою або змішуванням з повітрям [4]. Введення обпаленого вапна та вдування порошку лігніту в потік технологічних газів до установки пиловловлювання знижує викиди діоксинів більш ніж на 97% [5]. Очищення газів від адсорбенту з уловленими діоксинами відбувається разом з технологічним пилом у рукавному фільтрі з подальшою утилізацією у шихті. Вміст діоксинів у викидних газах не первищує 0,1 нг/м^3 при витраті лігніту до 30 мг/м^3; при вдуванні лігніту більше 50 мг/м^3 виникає загроза загоряння пилу у фільтрах.

Вміст діоксинів/фуранів також можна знизити на 60-70% за рахунок рециркуляції газів в хвостових вакуум-камерах агломашини, де інтенсивно протікає процес їх утворення при температурах 250–300 ^oC. Вони потрапляють в зону горіння з рециркулюючим газом і майже повністю розкладаються. За даними компанії Corus [6] добавка до аглошихти розчину сечовини в кількості приблизно 0,15 кг/т агломерату дозволяє знизити більш ніж удвічі викиди діоксинів/фуранів при одночасному значному скороченні викидів SO_2 і NO_x за механізмом хемосорбційного уловлювання.

Список літератури

1.*Sinkkonen S., Paasivirta J.* Degradation half-life times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling // Chemosphere. - 2000. - V.40, Iss.9-11. - P.943-949.

2.*Худолей В.В.* Диоксиновая опасность в городе / В.В. Худолей, Г.А. Ливанов, С.Е. Колбасов, К.Б. Фридман. - СПб.:НИИ Химии СпбГУ, - 2000. - 173 с.

3.US EPA. Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-Dioxin (TCDD) and Related Compounds. Path 1, V.2, -Washington, DC, EPA/600/P-00/001Ab, 2000. - 628p.

4.*Бернадинер М.Н.* Диоксины в пирометаллургических процессах и методы их обезвреживания // Электрометаллургия. - 2000. - № 1. - с. 12-17.

5.Новая установка вдувания угля для снижения выбросов диоксина на аглофабрике./ Бонт Л., Бюттьен К., Фурнель Р. и др. // Черные металлы. - 2003. - июнь. - с. 40-43.

6.Справочник наилучших доступных технологий в промышленности по переработке черных металлов. - М.: Изд. ООО «Деловые Медиа» - 2013. - 612 с.

УДК. 662.6, 669.162.2, 536.46

В. В. Калинчак[1], А. С. Черненко[1], Р. Д. Куземко[2]

[1]Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, г. Одесса

[2]Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ФУРМЕННОМ ОЧАГЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Целью данной работы является разработка и усовершенствование технологической схемы горения внутри фурменного очага доменной печи пылеугольного факела путем частичной замены им высококачественного кокса через рекомендованные оптимальные значения начальных массового расхода ПУТ, его дисперсности, температуры воздушного дутья и содержания кислорода в зависимости от состава угля (сорт, зольность, пористость, содержание летучих газов). Для этого разработана физико-математическая модель, включающая решение системы дифференциальных и алгебраических уравнений, обеспечивающих учёт около 30 факторов и физических воздействий на

тепломассообмен и горение частиц в фурменном очаге доменной печи. При этом моделируется изменения параметров пылеугольного факела по его длине при горении угля внутри фурменного очага и разрабатываются рекомендации по увеличению полноты сгорания частиц угля.

В ряде работ детально не рассматривается горение летучих веществ (метан, водород) вдоль факела и его влияние непосредственно на горение коксовой частицы. Работы по металлургической тематике используют «видимые» реакции горения в кислородной и углекислотной зонах факела, что не отображает реальной кинетики горения коса. Часто для описания горения угольных частиц или летучих газов используются эмпирические зависимости (которые дают возможность сделать приближенные оценки), в которых, например, не указывается влияние давления. Сложность решения поставленной задачи предусматривает использование ряда обоснованных предположений:

- газообразные продукты имеют температуру и скорость дисперсных частиц;

- за счет турбулентности концентрации газообразных компонентов моментально устанавливаются в выбранном объеме, частицы не коагулируются и в среднем равноудалены;

- частицы и газ в факеле двигаются с одинаковой скоростью, изменение которой описывается теоретически полученной зависимостью для турбулентной струи с твердыми примесями.

Для аналитического рассмотрения горения и движения дисперсных систем в пределах фурменной области использована система уравнений, основанная на законах сохранения массы, энергии и импульсу, законах химической кинетики: 1) уравнение теплового баланса для частицы с учетом протекания основных последовательно-параллельных реакций, турбулентного тепломассопереноса, стефановского течения и теплового излучения, 2) уравнения для изменения температуры газовой смеси с учетом гомогенных реакций горения угарного и летучих газов и преобразования кинетической энергии системы в тепловую; 3) уравнения для уменьшения диаметра и плотности частиц ПУТ; 4) уравнения для изменения концентрации кислорода, угарного и углекислого газов; 5) уравнений для изменения средних скоростей газа, частиц, ширины факела. Для численных расчетов используются классические схемы Рунге-Кутта. Вся длина фурменного очага разбивается на 500-3000 участков.

В результате моделирования сгорания и газификации угля в фурменном очаге получены по длине факела профили средних по сечению температур частиц T_2 и газовой смеси T_1, размеров частиц δ_2, относительной массы m_2/m_{2b}, скорости частиц w_2 и смеси w_1, газового состава (CO_2, O_2, CO, N_2, CH_4, H_2, H_2O), диаметра осевого сечения факела δ_s. Параметры, на которые обращается внимание, следующие: длина кислородной зоны L_{ok}; максимальная температура частиц T_{2max}, газовой смеси T_{1max} в фурменном очаге; механическая и химическая полнота сгорания частиц; конечный газовый состав по CO и CO_2. Это позволяют судить о степени влияния массового расхода угольной пыли m_{2b}, дисперсности пыли δ_{2b}, состава угольной пыли, температуры T_{1b} и массовой доли кислорода Y_{O2b} воздушного дутья.

УДК 669.162.22-52

Д. А. Кассим, В. П. Лялюк, Е. В. Чупринов

Криворожский металлургический институт НМетАУ, г. Кривой Рог

ПРОБЛЕМЫ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ ПО ОКРУЖНОСТИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Длительные наблюдения за распределением расхода дутья по фурмам, проведенные на многих металлургических заводах, в том числе и на доменной печи №9 объемом 5000 $м^3$ комбината “Криворожсталь”, показали, что расходы дутья по фурмам изменяются в значительных пределах. Неравномерность расхода дутья по фурмам по окружности горна доменной печи значительно влияет на размеры зон горения, глубину проникновения газового потока к центру горна, изменение поля температур по радиусу и окружности горна, на форму и расположение зоны размягчения, на химический состав и физическое состояние материалов, на неравномерность схода шихты, на разгар профиля печи и т.д., что существенно сказывается на ровности хода печи, ее производительности, удельном расходе кокса и качестве чугуна.

При изучении процессов доменной плавки путем проведения исследований с изменением параметров и условий использовали методику восстановления одномерных зависимостей, которая позволяет на основании данных, полученных в

режиме нормальной эксплуатации конкретной доменной печи, устанавливать связи между входными параметрами и выходными показателями доменной плавки [1].

На основании данных о расходе дутья по фурмам ($Q_д$) доменной печи №9 за 171 сутки с 1975 по 1985 год были рассчитаны теоретическая температура горения ($T_т$,), выход горнового газа ($Q_{гг}$) и энергетические параметры – полные механические энергии потока комбинированного дутья ($E_{пм\ кд}$) и горнового газа ($E_{пм\ гг}$). Для количественной оценки неравномерности распределения вышеперечисленных параметров по окружности горна доменной печи определили коэффициенты вариации (V_σ) за каждые из 171 рассмотренных суток работы печи, например, для дутья V_σ=13,6-45,2.

Результаты учета влияния коэффициентов вариации входных параметров (неравномерности их распределения по окружности печи) при их изменении на 1 % на производительность и удельный расход кокса приведены в табл. 1.

Проведенный анализ показал, что наибольшее влияние на производительность доменной печи и удельный расход кокса оказывает неравномерность распределения расхода дутья по фурмам по окружности горна доменной печи.

Таблица 1. Влияние вариации технологических факторов на производительность и удельный расход кокса

Уменьшение коэффициента вариации на 1 %	Производительность, %	Удельный расход кокса, кг/т
$Q_д$	+1,10	-0,97
$T_т$; $Q_г$	+0,79; +0,89	-0,46; -0,73
$E_{пм\ кд}$; $E_{пм\ гг}$	+0,70; +0,72	-0,72; -0,65

Причем, существенно снизить неравномерность теоретической температуры, выхода горнового газа и двух полных энергий при любых вариантах изменения расходов природного газа, кислорода и пара, изменения температуры природного газа и температуры пара, путем подачи их непосредственно в каждую фурму, не удалось.

Однако, если, используя систему контроля и регулирования дутья по фурмам, выровнять расход дутья на каждую фурму и принять при этом постоянство температуры дутья на каждой фурме, то задача обеспечения равномерности

остальных четырех параметров дутьевого потока перед каждой фурмой легко решается путем незначительной регулировки расходов кислорода, природного газа или пара, подаваемых непосредственно в фурму, при этом коэффициенты вариации рассматриваемых параметров сразу снижаются до приемлемого уровня V_σ=0,46-2,1.

Несмотря на известный опыт и сложности осуществления автоматического контроля и регулирования расхода дутья по фурмам, реализация такой системы с контролем также и температуры дутья на каждой фурме, является весьма перспективной. Это позволит оперативно контролировать изменения перед каждой фурмой и обеспечить постоянство комплексных показателей дутьевого режима по окружности доменной печи, а также оптимизировать газодинамику и тепловой режим доменной плавки и выйти на согласованное управление параметрами загрузки и дутья.

Список литературы

1. Грачев Ю.М., Кац М.Д., Давиденко А.М. Новый подход к решению задачи повышения эффективности доменной плавки одновременно по удельному расходу кокса и производительности // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – №5. – С. 142-145.

2 Лялюк В.П., Товаровский И.Г., Кассим Д.А. О равномерности распределения параметров доменной плавки по окружности доменной печи // Сталь. – 2018. – №3. – С. 8-13.

УДК 622.781:622.788.3

Д. О. Кассім, В. П. Лялюк, Є. В. Чупринов

Криворізький металургійний інститут НМетАУ, Кривий Ріг

СУЧАСНА ДОМЕННА ПЛАВКА ПОТРЕБУЄ ЄДИНОГО ОГРУДКОВАНОГО ВИДУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ

На сьогоднішній день основні напрямки розвитку технології доменної плавки (підвищення температури гарячого дуття, збагачення дуття киснем, підвищення тиску газу на колошнику, вдування в піч пиловугільного палива, природного і коксового газів, мазуту, оптимізація розподілу шихтових матеріалів на колошнику із

застосуванням нових завантажувальних пристроїв, вдосконалення розподілу газового потоку в горні доменної печі, автоматизація доменної плавки) практично освоєні. Тому найважливішим напрямком удосконалення технології доменної плавки є забезпечення доменних печей високоякісними шихтовими матеріалами (коксом і залізовмісною сировиною).

Традиційні залізорудні матеріали мають ряд недоліків. Зокрема, агломерат характеризується низьким вмістом заліза, високим вмістом дрібної фракції (0-5 мм) в готовому продукті, широким діапазоном крупності готової продукції та низькою міцністю на удар і високою стиранність при транспортуванні. Окатиші, в свою чергу, мають низький кут природного укосу та потребують концентрату глибокого збагачення в разі виробництва окатишів із співвідношенням CaO/SiO_2 вище 0,8 д.од.

Авторами даної роботи розроблена технологія отримання однорідного огрудкованого офлюсованого залізорудного матеріалу (офлюсованих локальних спеків), що мають практично всі позитивні металургійні характеристики агломерату та окатишів, та не вимагають значних капітальних вкладень при реконструкції цехів з виробництва окатишів [1].

Технологія передбачає виготовлення двох видів сирих окатишів: з високою (понад 1350 °С) і низькою (менше 1150 °С) температурами плавлення. Шихта для отримання високотемпературних сирих окатишів може бути будь-якого ступеню офлюсування в залежності від вмісту кремнезему в концентраті, а також включати: тверде паливо розміром 0-12 мм в кількості до 15,1 %; при необхідності високотемпературні мінерали в невеликих (0-3 %) кількостях; залізорудний концентрат з високотемпературною нерудною частиною і низьким (1-5 %) або відносно високим (5-10 %) вмістом кремнезему, при відповідному вмісті заліза або металізовані окатиші, або руду розміром 8-20 мм з доцільною мірою металізації (5-95 %).

Шихта для отримання низькотемпературних сирих окатишів складається із залізорудного концентрату будь-якого складу і повинна бути високоофлюсованою (3,5-8,7 ч. од.), щоб забезпечити необхідну середню основність всього матеріалу. Крім того, до складу цієї шихти можна вводити, при необхідності, легкоплавкі мінерали і тонкоподрібнене тверде паливо для прискорення розплавлення цих окатишів.

З кожної шихти в окремих огрудкувачах виготовляються сирі окатиші, причому розмір високотемпературних повинен бути 10-20 мм, а низькотемпературних

окатишів 8-14 мм. Обоє видів окатишів змішуються на конвеєрах при перевантаженнях в процесі транспортування від огрудкувача до обпалювального агрегату у співвідношеннях 71-79 % до 29-21%.

Термообробка та утворення однорідного офлюсованого окускованого матеріалу відбувається за промисловим режимом термообробки, що включає сушку, нагрів, обпалення і охолодження продуктами повного спалювання будь-яких видів палива.

Для збереження в готовому окускованому матеріалі максимально можливої кількості залишкового вуглецю і заліза (в разі використання металізованих окатишів або руди) нагрів та охолодження здійснюють з підвищеними швидкостями, або використовують забаластований теплоносій.

Металургійні характеристики комплексного продукту відповідають сучасним вимогам доменної плавки: вміст $Fe_{заг}$ – 64,6-77,2 %, FeO – 7,1-8,4 %, залишкового вуглецю 2,1-3,4 %; основність – 1,25-1,5; міцність в барабані (+5 мм) – 96,0-96,5 %, стиранність (0-0,5 мм) – 2,7-3,2 %; міцність при відновленні (+5 мм) – 90,7-93,1 %, стиранність при відновленні (0-0,5 мм) – 5,1-6,2 %; перепад тиску шару при відновленні – 60-72 Па, усадка шару – 13-19 %; кінцева ступінь відновлення – 85,3-87,1 %; кут природного укосу – 36-42 град [2].

Перелік посилань

1. *Журавлев Ф. М.* Комплексный окускованный железосодержащий материал с улучшенными металлургическими характеристиками для современной доменной плавки / Ф. М. Журавлев, В. П. Лялюк, Н. И. Ступник и др. // Сталь. – 2016. – №12. – С. 11-17.

2. *Лялюк В. П.*, Ступник Н. И., Журавлев Ф. М. и др. Совершенствование технологии и оборудования производства железорудного сырья для современной доменной плавки. – Кривой Рог: Дионат, 2017. – 368 с.

УДК 628.511:66.074.2

М. А. Кащеев[1], В. А. Влади[2], Н .Р. Руденко[1]

[1]Днепровский государственный технический университет, г. Каменское

[2]ООО «Приднепровский механический завод», г. Каменское

АППАРАТ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Увеличение производства агломерата при высоком содержании тонкоизмельченных материалов (железорудный концентрат, шламы, пыль металлургического производства и др.) сопровождается увеличением расхода извести (как основного связующего) и образованием больших объемов запыленных газов [1, 2]. Например, выход технологических газов при зажигании и спекании шихты на агломашинах площадью спекания 75 м^2 образуется в среднем от 360 тыс. м^3/час. Температура газов составляет 120-180^{o}С.

Основным агрегатом для очистки запыленных газов в условиях аглопроизводства Украины является батарейный мультициклон с мокрым удалением продуктов осаждения. Учитывая значительную нагрузку по содержанию пыли (4,0-8,0 г/н.м^3) мультициклоны работают неэффективно и со снижением ККД [3, 4]. При такой работе происходит ухудшение газового режима работы системы агломашина-эксгаустер.

Предложено решение по предварительной очистке агломерационных газов без расширения площади агломашины и существующей системы очистки. Проведенное компьютерное моделирование различных участков газового тракта агломашины типа АКМ-75. Разработано аппарат инерционного осаждения пыли «VAV» (рис.1) и предложено установить в коллектор газового тракта перед батарейным мультициклоном (рис.2). Отличительной особенностью является конфигурация аппарат, пылеосадительные пластины, система установки и возможность регулирования их расположения.

Возможность изменения взаимное расположение пылеосадительных пластин позволяет направлять газовый поток по траектории между элементами. За счет механизмов гравитационного осаждения усиленные аэродинамической составляющей, мелкодисперсные частицы пыли частично выводятся из потока в зоны со значительно низкой скоростью газа, где происходит их выделение в отдельный бункер. Таким образом, возможно как повышение сопротивление

аппарата (до 500 Па) и КПД или понижение. При этом регулируется нагрузка на мультициклон.

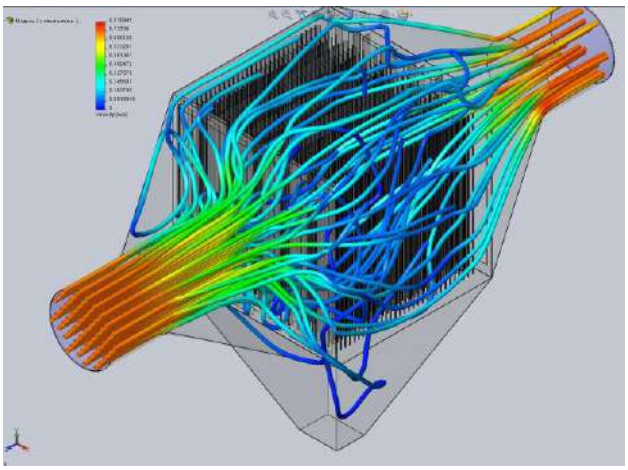


Рисунок 1 Моделирование траекторий запыленных газовых потоков в системе пылеосаждения инерционного аппарата

Рисунок 2 Установка аппарата инерционного осаждения «VAV-250-АФК» в газовый коллектор агломашины № 12 ПАО «Днепровский меткомбинат»

Проведенные инструментальные замеры показали эффективность улавливания частиц с медианным диаметром до 10 мкм до 50% с 20 мкм до 70%. По результатам замеров, проведенных экологической службой комбината (ПАО «Днепровский меткомбинат», г. Каменское, Украина), запыленность газов на выходе из аппарата составила 0,92 г/н.м^3 (при входящей запыленности газов не менее 3,0 г/н.м^3). Эффективность очистки аппарата составила около 70%.

Преимущества модернизации предварительной очистки газов: сокращение уноса пыли из газового коллектора до 70% за счет осаждения в аппарате крупнодисперсной фракции до 20 мкм; увеличение доли крупнодисперсной фракции в общей массе уловленной пыли для возврата в производство из газового коллектора; снижение пылевой нагрузки на дутьевое оборудование и существующее оборудование для очистки газов; снижение абразивного износа металлоконструкций.

Список литературы

1. *Савинов В.М.*, Дробный О.Ф., Садыков Н.Х. Аспирация хвостовых частей агломашин. «Сталь» № 2. 2007 г.

2. Совершенствование технологии спекания агломерата / Р.С. Берштейн и др. – Днепропетровск: Промінь, 1975-11с.

3. *Гурьев В.С.*, Корецкая Н.И. Очистка газов в агломерационном производстве США., ин-т «Черметинформация», 1978 - 20 с.

4. *Мищенко И.М.*, Егоров Н.Т. Возможности кардинального сокращения пылевых и газовых выбросов в агломерационном производстве / Металлургическая и горнорудная промышленность – 2005 - №4.

УДК 622.788:662.6/9:504

Л. Г. Кеуш[1], А. С. Коверя[1], М. Н. Бойко[1], А. Ю. Худяков[2], Н. В. Полякова[1]

[1] Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

[2] Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр

ОСОБЕННОСТИ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНИНА

Технический гидролизный лигнин (ТГЛ) является крупнотоннажным промышленным отходом, который образуется на предприятиях гидролизной и целлюлозно-бумажной промышленности в результате химический переработки древесной биомассы и некондиционного сельскохозяйственного сырья. На сегодняшний день ориентировочные объемы накопления ТГЛ в Украине составляют около 10 млн. тонн. Поскольку земельные ресурсы, отчуждаемые под гидролизные отвалы, не подлежат рекультивации, а сам ТГЛ служит источником поступления в окружающую среду разнообразных углеводородных соединений, включая токсичный фурфурол, то проблема переработки ТГЛ является актуальной хозяйственной задачей.

Существенный резерв для утилизации технического лигнина имеется в металлургическом производстве. Металлургическая ценность сухого ТГЛ определяется значительным содержанием углерода (65-70 %), низким содержанием серы (0,09-0,5 %) и высокой реакционной способностью.

Возможность использования гидролизного лигнина в качестве металлургического топлива и восстановителя подтверждается различными исследованиями. Так, установлено, что при окислительном обжиге железорудных окатышей, с добавлением 5-6 % лигнина от массы шихты, были получены достаточно прочные и пористые окатыши, содержащие до 0,1% остаточного

углерода, а время обжига уменьшилось в 1,5 раза. Добавление ТГЛ в состав комбинированной шихты для выплавки ферросиликокальция, позволило улучшить работу электропечи, полноценно осуществить раздельное восстановление кремния и кальция. При вводе лигнобрикетов в количестве до 100 кг/т чугуна калорийность доменного газа возросла на 6-7%, повысилась интенсивность доменной плавки. Кроме того, установлено, что добавка до 20% лигнина в состав пылеугольного топлива позволяет в 1,3-1,4 раза снизить расход природного газа без снижения основных показателей доменной плавки. Сведения же о применении технического лигнина в производстве железорудного агломерата практически отсутствуют, между тем агломерация остается основным способом окускования железорудного сырья для доменной плавки, потребляющим значительные количества твердого топлива, поэтому изыскание путей экономии кокса для агломерационного производства за счет утилизации технического гидролизного лигнина имеет серьезное экономическое значение.

В работе экспериментально изучено влияние добавки в агломерационную шихту технического гидролизного лигнина, подвергнутого пиролизации до конечных температур 400, 600, 800 и 1000 °С, на процесс агломерации железорудных материалов и свойства полученного агломерата.

Установлено, что при замене 25% коксовой мелочи лигнином, пиролизированым до температуры 800 °С основные показатели агломерационного процесса остаются на базовом уровне. Наблюдается незначительное снижение прочности агломерата на удар и на истирание, однако данные показатели остаются на приемлемом уровне. Следует отметить, при использовании лигнина в качестве агломерационного топлива обнаруживается тенденция к некоторому снижению содержания железа в агломерате в связи с повышенной зольностью ТГЛ по сравнению с коксовой мелочью и антрацитом. Кроме того, применение лигнина вызывает рост среднего диаметра пор в агломерате, причем с повышением температуры пиролиза ТГЛ, объем пор увеличивается.

Направлением дальнейших работ может являться развитие способов подготовки технического гидролизного лигнина к использованию в железорудной агломерации в качестве твёрдого топлива. Поскольку ТГЛ является мелкофракционным сыпучим материалом, то для его применения необходимо предварительное окускование, которое может быть осуществлено путем

брикетирования в прессах валкового типа или принудительной грануляции в фильерах.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о перспективности предлагаемого направления переработки технического лигнина, посредством использования его в качестве твёрдого топлива при агломерации железных руд.

УДК 669.004.8:622.785

Н. А. Колбин, А. П. Мешалкин, Я. В. Мяновская

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ИССЛЕДОВНИЕ СПЕКАНИЯ АГЛОШИХТЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГОТОВОГО АГЛОМЕРАТА

Оценка металлургических свойств агломерата занимает в настоящее время важное место в системе контроля качества рудных составляющих шихты доменной плавки. Результаты комплексной оценки свойств агломерата могут быть использованы для управления, как технологией производства агломерата, так и технологией доменной плавки. К качеству агломерата предъявляются жесткие требования. Он должен иметь достаточно высокие показатели прочности и восстановимости, высокое содержание железа, равномерный гранулометрический и химический состав и т.д. Ряд требований к качеству шихты имеет противоречивый характер, так, например, повышение восстановимости агломерата приводит к снижению его прочности и поэтому необходима оптимизация таких свойств.

Прочность, наряду с восстановимостью, относится к основным металлургическим свойствам железорудных материалов, используемых в доменной плавке. Обе эти характеристики являются важнейшими аспектами качества сырья, но внимание им уделяют неодинаковое. Из-за высокой доли мелочи, возникающей в ходе производства, грохочения, перегрузок и переработки окускованного сырья, на первый план вышла его прочность. Поэтому проблеме повышения прочности железорудного сырья уделяется значительное внимание.

Одним из преимуществ агломерации является глубокое развитие жидкофазного спекания, что делает ее самым высокопроизводительным и

распространенным технологическим процессом окускования, и позволяет получать прочный агломерат.

На формирование структуры агломерата большое влияние оказывает процесс его охлаждения. При быстром охлаждении готового агломерата, вследствие того, что непрерывно просасывается воздух, образуются стекловидные вещества, обладающие повышенной хрупкостью и в силу этого снижающие прочность агломерата. Причем в большей мере при этом страдает верхний слой агломерата, и поэтому он получается менее прочным. Для получения более прочного агломерата процесс охлаждения рекомендуется вести медленно.

Таблица

Параметр спекания	Сравнительное спекание	Опытное спекание
Расход материалов на спекание, %:		
Железная руда фракции -5мм	40	40
Железорудный концентрат фракции -1мм	20	20
Топливо фракции 2-3мм	8	8
Известняк фракции 2-3мм	7	7
Возврат фракции -5мм	25	25
Всего шихты на спекание, г	1500	1500
Теплоизолирующий слой, г:		
Возврат фракции 3-5мм	-	200
Топливо фракции -1 мм	-	12
Масса спека, г	1380	1420
Прочность по фракции +5мм, %	90,2	95,7

В данной работе изучалось влияние способа укладки спекаемой шихты на прочность получаемого агломерата. Было исследовано влияние укладки на слой аглошихты дополнительного теплоизолирующего слоя, который будет предохранять верхний слой аглошихты от быстрого охлаждения потоком воздуха. В результате чего, должно уменьшиться образование стекловидных веществ и повысится прочность верхнего слоя аглопирога. Проведенные исследования показали, что когда перед зажиганием шихты на нее укладывается слой, состоящий из возврата и твердого топлива. получается достаточно прочный агломерат. В таблице представлены результаты исследования.

Выводы. Таким образом, по результатам спекания установлено, что использование дополнительного теплоизолирующего слоя позволяет улучшить прочность верхнего слоя аглопирога, и всего агломерата в целом.

УДК. 669.162

Р. Д. Куземко[1], Т. Г. Шевченко[2], С. В. Козловцев[2], В. О. Синельников[3], Р. В. Карнаушенко[4], А.В. Лоза[1]

[1]ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

[2]ЧАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь

[3]AGH «Научно-технический университет», г. Краков, Польша

[4]Общеобразовательная школа № 36

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА ГАЗОВЗВЕСИ ПЕРЕД СОПЛОМ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКНОВЕНИЯ ГАЗОПОРОШКОВОЙ СТРУИ В ШЛАКОВЫЙ РАСПЛАВ

Актуальность проблемы. Увеличение стойкости футеровки кислородных конвертеров – наиболее эффективный способ снижения себестоимости стали. Однако по внедрению этой высокой технологии кислородно-конвертерных цехов Украины существенно отстают от достижений меткомбинатов стран мира.

Цель исследования – выполнить моделирование процессов в сверхзвуковых газодисперсных струях с ударно-волновой структурой и установить влияние предварительного нагрева газовзвеси до температуры t_0 в фурме на среднемассовую температуру t_x и скорость w_x струи, присоединенную массу газа g и шлака $g_ш$ в струю из полости конвертера и других факторов на глубину h_x проникновения газопорошковой струи в шлаковый расплав.

Математическая модель. С учетом целого ряда физических воздействий – концентрации порошка μ, коэффициента скольжения фаз ψ, величины присоединенной массы газа g и шлака $g_ш$, степени нерасчетности n сверхзвуковой струи, выходного сечения F_1 сопла – уравнение для импульса в сечении xx использовали в форме

$$I_x = \rho_н V_н \left(1+\mu\psi\right)\left(1+g+g_ш\right) w_x + F_1 p_Г (n-1). \qquad (1)$$

Для нахождения величины g применяли ранее полученные соотношения

$$g = \frac{2r_{\max}\bar{x}}{D\sigma} C_i \left(1 - C_i^2\right)^{1/2} \left(I_{1R} - I_{2R}\right), \tag{2}$$

где $$I_{1_R} = \int_{-\infty}^{\eta_R} \frac{\varphi d\eta}{\theta + \varphi(1-\theta) - \varphi^2 C_i^2}; \; I_{2_R} = \int_{-\infty}^{\eta_R} \frac{\varphi^2 d\eta}{\theta + \varphi(1-\theta) - \varphi^2 C_i^2}. \tag{3}$$

В уравнениях (1-3) приняты следующие обозначения: r_{max} – максимальный радиус первой бочки нерасчетной сверхзвуковой струи, C_i – число Крокко, D – число, зависящее от числа Маха на срезе M_1 и степени нерасчетности n, σ – параметр подобия, η – безразмерная переменная в зоне смешения, θ – температурный фактор. Глубину лунки h_x рассчитывали по формуле Марков Б.Л.

Практический интерес представляет влияние нагрева газа перед сопловым блоком до температуры t_o на заглубление h_x газопорошкового потока в расплав. Расчеты показали (див. рис.), что чем выше срез сопла над расплавом, тем меньше глубина h_x при любой температуре t_o. Например, при t_o = 200°С и увеличении $\bar{x}$ с 0 до 30 калибров приводит к снижению h_x с 0,88 *м* до 0,77 *м*. Однако, если смесь нагреть до t_o = 600°*С*, то при изменении $\bar{x}$ от 0 до 30 глубина h_x уменьшается, но с 0,99 *м* до 0,83 *м*. Характерно, что, например, если $\bar{x}$ = 20, то повышая температуру t_o с 50°*С* до 600°*С* глубина лунки h_x увеличивается с 0,74 *м* до 0,89 *м*.

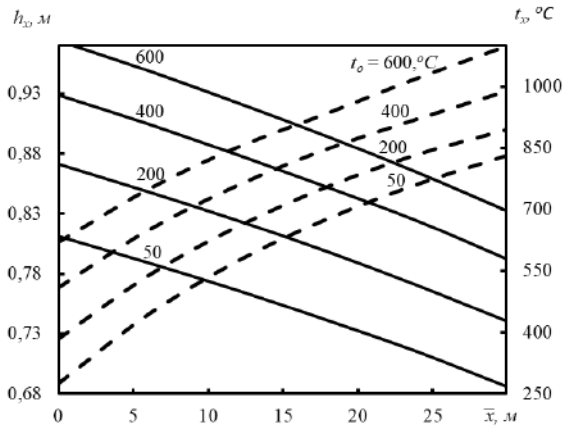


Рисунок – Влияние температуры t_o на глубину лунки h_x (—) и среднемассовую температуру t_x (– –) при различном удалении $\bar{x}$ от среза сопла. Исходные данные: μ = 0,3 *кг/кг*, $g_ш$ = 0,5, Ψ = 0,8, $\Psi_ш$ = 0,8, $V_н$ = 100 *м³/мин*, $d_{кр}$ = 32 *мм*, d_1 = 49 *мм*, m_2 = 37,5 *кг/мин*, p_o = 1,25 *МПа*

Что касается среднемассовой температуры t_x, то при любом значении t_o температура t_x по длине $\bar{x}$ растет. Так, если t_o = 600°*С*, то при увеличении $\bar{x}$ от 0°*С* до 30°*С* температура t_x увеличивается с 630°*С* до 1150°*С*. На расстоянии, например,

$\bar{x}$ = 20 увеличение t_o с 50°*C* до 600°*C* приводит к повышению t_x с 710°*C* до 1000°*C*, что необходимо учитывать при расчете h_x.

Естественно, если концентрация порошка в газовзвеси $\mu \rightarrow 0$, то настоящая задача уже решается по расдувке шлака чистым азотом.

Применив современные достижения теории сложных газодинамических процессов при взаимодействии сверхзвуковых газопорошковых нерасчетных струй с расплавом можно существенно сократить время внедрения новейших технологий.

УДК. 669.162

Р. Д. Куземко[1], Э. О. Цкитишвили[2], Г. А. Дорофеев[3], В. В. Калинчак[4], А. С. Черненко[4], А. Д. Шатровский[1]

[1]ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь;

[2]ПАО «МК «Азовсталь», г. Мариуполь;

[3]«ОРИЕН ТЕХНОЛОДЖИ»

[4]ГВУЗ «Одесский национальный университет», г. Одесса

ВЛИЯНИЕ КОНСТАНТЫ МАСШТАБА ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ГАЗОНОСИТЕЛЯ ВДОЛЬ ОСИ СТРУИ ПРИ ВДУВАНИИ НЕРЕАГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВ В ФУРМЕННЫЙ ОЧАГ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Актуальность проблемы. Только на двух меткомбинатах г. Мариуполя, где работают 10 доменных печей, через ~200 фурм вдувается 45 тыс. *м^3/мин* воздуха, на что затрачивается около 200 *МВт* энергии сжатия. Очень важно максимально эффективно использовать эту весьма огромную энергию. Интерес к этой проблеме возникает и потому, что для совершенствования современных технологий производства чугуна в доменных печах стран мира (Япония, Китай, Германия, США и др.) кроме пылеугольного топлива вдувают и нереагирующие порошки – железную руду, доломит, гранулированный шлак, флюсы, известь и др. Эти порошки в фурменную зону вносит турбулентная струя, которая характеризуется разным масштабом турбулентности, вихревым эффектом, пульсационными характеристиками. Все эти физические явления приводят к существенной диссипации вносимой энергии.

Цель работы – используя фундаментальные многопараметрические соотношения для газообразной и твердой фазы – уравнения неразрывности, сохранения импульса и энергии и др., переноса пульсационной энергии – установить влияние масштаба турбулентности, диаметра и плотности частиц на скоростные и температурные характеристики струи.

Математическая модель. Для проведения численного эксперимента использовали ~ 10 дифференциальных, и целый ряд алгебраических уравнений, которые решаются совместно. В качестве примера запишем некоторые из них:

– уравнение неразрывности дисперсной примеси

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left(\rho_2 w_{2\mathrm{x}}\right)+\frac{1}{y}\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\, y\left(\rho_2 w_{2y}+\rho_2^{'} w_{2y}^{'}\right)=0; \qquad (1)$$

– уравнение переноса пульсационной энергии

$$\frac{\partial}{\partial \mathrm{x}}\left(\mathrm{w}_{1\mathrm{x}}\mathrm{k}\right)+\frac{1}{y}\frac{\partial}{\partial y}\left(-\mathrm{kw}_{1\mathrm{y}}\right)=\frac{1}{\mathrm{y}}\frac{\partial}{\partial \mathrm{y}}\left(\mathrm{y}\frac{\mathrm{v}_{\mathrm{t}}}{\sigma_{\mathrm{k}}}\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{y}}\right)+\mathrm{v}_{\mathrm{t}}\left(\frac{\partial \mathrm{w}_{1\mathrm{x}}}{\partial \mathrm{y}}\right)^2+\left(\mathrm{G}_{\mathrm{k}}-\varepsilon-\varepsilon_2\right); \qquad (2)$$

В уравнениях (1) и (2), а также в подрисуночных подписях приняты следующие обозначения: w_{1x}, w_{2x}, w_{1y}, w_{2y} – скорость несущего газа и порошка вдоль осей x и y, ρ_2 – плотность частиц G_k – генерация турбулентной энергии в следе за частицами, v_t – коэффициент турбулентной вязкости несущего газа, σ_k – эмпирический коэффициент, k – кинетическая энергия турбулентности, ε, ε_2 – диссипация турбулентной энергии газа и диссипация турбулентной энергии за счет межфазного взаимодействия, $V_н$ – расход газа, m_2 – расход порошка, δ – размер частиц, t_2, $t_{ос}$ – температура частиц и окружающей среды, μ – массовая концентрации порошка, c_2 – теплоемкость частиц. Параметры со штрихом учитывают пульсационную составляющую.

Результаты расчета и их анализ. Рассмотрим влияние турбулентности струи. Как следует из рисунка, чем дальше от среза сопла, тем ниже скорость w_1 несущего газа. Например, при x = 300 *мм*, и $t_{ос}$ = 1800 °*C*, увеличение константы масштаба турбулентности C_l с 0,1 до 0,6 приводит к снижению скорости w_1 газа – носителя с 110 *м/с* до 60 *м/с.*

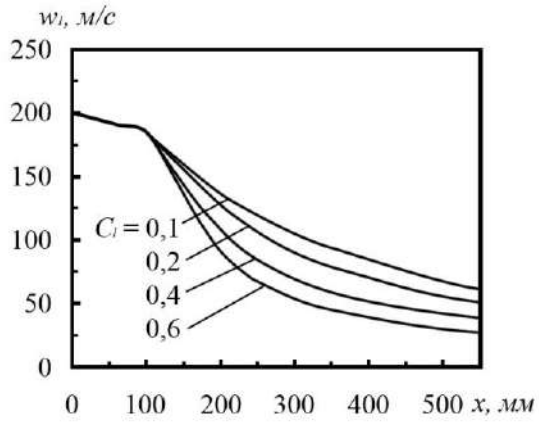


Рисунок – Распределение скорости несущего газа w_1 по длине струи x при различном коэффициенте масштаба турбулентности C_l. Исходные данные: $V_н$ = 300 *м^3/час*; m_2 = 20 *кг/мин*; δ = 0,1 *мм*; ρ_2 = 1600 *кг/м^3*; $t_{о.с}$ = 1800*°C*; t_2 = 1100*°C*; c_2 = 500 *Дж/(кг·К)*; μ = 3,2 *кг/кг*

Теоретическая и практическая ценность работы. Численные исследования выполнены с использованием корреляционных моментов и с учетом межфазного взаимодействия, генерации турбулентной энергии в следе за частицами, кинетической энергии турбулентной струи, коэффициента турбулентной вязкости, макромасштаба турбулентности в струе, диссипации турбулентной энергии.

УДК 669.162

Р. Д. Куземко[1], Т. Г. Шевченко[2], В. В. Калинчак[3], А. С. Черненко[3], Р. В. Карнаушенко[4], А. Д. Шатровский[1]

[1]ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь;

[2]ПАО МК «им. Ильича», г. Мариуполь;

[3]ГВУЗ «Одесский национальный университет», г. Одесса;

[4]Общеобразовательная школа №36

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОРОШКА НА СКОРОСТЬ НЕСУЩЕГО ГАЗА В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ СТРУИ ПРИ ВДУВАНИИ НЕРЕАГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

Актуальность проблемы: Известно, что в доменные печи разных стран мира (Япония, Китай, Германия, США и др.) кроме пылеугольного топлива (ПУТ) вдувают

еще и нереагирующие порошки. Так, например, при выплавке чугуна в горн доменной печи вдувают флюсовые смеси и тонкоизмельченную руду, пылевидную известь, пылевидные оксиды железа, флюсы и целый ряд других технологических порошков. Однако, меткомбинаты Украины эту важнейшую технологию еще не осваивают. Турбулентная струя характеризуется пульсационными скоростями и температурами, разным масштабом турбулентности, вихревым эффектом, акустическим возбуждением и др. В газопорошковом турбулентном потоке за каждой частицей образуется турбулентный след. В настоящей работе эти характеристики газопорошковых турбулентных струй будут учтены.

Цель настоящей работы – используя системы уравнений неразрывности, сохранения импульса и энергии каждой из фаз, уравнения переноса пульсационной энергии установить влияние плотности порошка на изменение скорости в поперечном сечении двухфазной турбулентной струи.

Математическая модель: Для численного эксперимента использовали ~ 45 уравнений, которые решаются совместно. В качестве примера покажем, как при моделировании записывали следующие соотношения:

– уравнение неразрывности для несущей среды

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_1 w_{1,}\right)+\frac{1}{y}\frac{\partial}{\partial y}y\left(\rho_1 w_{1y}+\rho_1^{'}w_{1y}^{'}\right)=0; \qquad (1)$$

– уравнение сохранения импульса дисперсной примеси в проекциях на продольную *x* и поперечную *y* оси

$$\frac{\partial}{\partial\ \mathrm{x}}\left(\rho_2 w_{2x}^2\right)+\frac{1}{y}\frac{\partial}{\partial\ \mathrm{y}}y\left[\rho_2\left(w_{2x}w_{2y}+w_{2x}^{'}w_{2y}^{'}\right)+w_{2x}\rho_2^{'}w_{2y}^{'}\right]=\mathrm{F_x}. \qquad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) и подрисуночных подписях приняты следующие обозначения: ρ_1, ρ_2 – плотности газа и частиц, *кг/м*^{3}, w_{1x}, w_{2x}, w_{1y}, w_{2y} – скорость несущего газа и порошка вдоль осей *x* и *y*, *м/с,* m_2 – расход порошка, *кг/мин*, $V_н$ – расход газа, *м*^{3}*/час,* δ – размер частиц, *мм*; *μ* – массовая концентрации порошка, *кг/кг*; t_2, $t_{ос}$ – температура частиц и окружающей среды, °*С;* c_2 – теплоемкость частиц, *кДж/(кг·К),* F_x – проекция межфазной силы на ось *x, Н/м*^{3}*.* Параметры со штрихом учитывают пульсационную составляющую струи.

Результаты расчета и их анализ: Численные расчеты еще раз подтвердили, что плотность порошка ρ_2 существенно влияет на скорость w_1 несущего газа, как в продольном, так и в поперечном сечении турбулентной струи (см. рис.). Так,

например, на оси струи (y = 0) увеличение плотности ρ_2 с 1600 *кг/м*^{3} до 2600 *кг/м*^{3} приводит к возрастанию скорости w_1 с 57 *м/с* до 81 *м/с*. Эти расчеты подтверждают тот естественный факт, что чем больше ρ_2, тем при одном и том же массовом расходе порошка m_2 и концентрации μ меньше перемещается частиц, и скорость w_1 несущего газа выше.

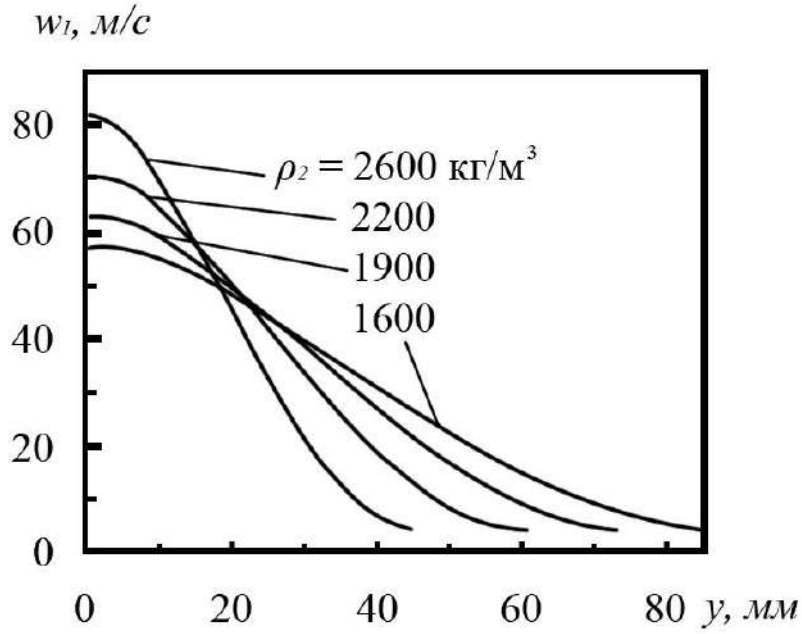


Рисунок – Влияние плотности порошка ρ_2 на изменение скорости частиц w_1 по сечению струи y. Исходные данные: $V_н$ = 300 *м*^{3}*/час*; m_2 = 20 *кг/мин*; δ = 0,1 *мм*; $t_{о.с}$ = 1800*°С*; t_2 = 1100*°С*; c_2 = 500 *Дж/(кг·К)*; μ = 3,2 *кг/кг*

Разработанный программный комплекс позволяет учесть коэффициенты турбулентной диффузии и теплопроводности, диссипацию турбулентной энергии с учетом межфазного взаимодействия, время динамической релаксации частицы, Эйлеров интегральный, пространственно-временной масштаб турбулентности вдоль траектории частиц.

УДК. 669.162

Р. Д. Куземко[1], Э. О. Цкитишвили[2], В. С. Козловцев[3], Л. А. Добровольская[1], В. Л. Монин[1], С. А. Гулак[1]

[1]ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

[2]ЧАО «Металлургический комбинат «Азовсталь»», г. Мариуполь

[3]ЧАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОРОШКА НА СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ ИЗ СОПЛА ФУРМЫ И ТЕМПЕРАТУРУ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ СТРУИ ПРИ РАЗДУВКЕ ШЛАКА В КОНВЕРТЕРЕ

Актуальность проблемы. На ММК им. Ильича разработан базовый проект по раздувке остаточного шлака и нанесению защитного гарнисажа на футеровку 160т кислородного конвертера. Для ускорения внедрения прорывной технологии нужны опережающие темпы научных исследований.

Цель работы – разработать модель, провести численный эксперимент и установить влияние массовой концентрации μ порошка и нагрева смеси до температуры t_o на скорость истечения газовзвеси w_{12} и температуру t_x газопорошковой струи.

Математическая модель. Расчетная модель позволила установить, как перечисленные выше факторы и физические воздействия влияют газотермодинамические характеристики сверхзвуковой нерасчетной газопорошковой струи. Например, скорость истечения газопорошковой струи из сопла Лаваля рассчитывали как:

$$w_{12}=\sqrt{\frac{2\varkappa}{\varkappa-1}\frac{1}{1+\mu\psi}R_1T_o\left[1-\left(\frac{p_r n}{p_o}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]};\ \varkappa=(k-1)(1-\varphi_1)+1; \quad (1)$$

$$\varphi_1=\frac{\nu-(1+b\rho_o)}{\nu-\frac{k-1}{k}(1+b\rho_o)};\ b=\frac{1-\psi}{1+\mu\psi^2}\frac{\mu}{\psi\rho_2};\ \nu=\left(1+\mu\frac{c_2}{c_{p_1}}\right)\frac{1+\mu\psi}{1+\mu\psi^2}. \quad (2)$$

В формулах (1), (2) и подрисуночных подписях приняты следующие обозначения: $\varkappa$ – показатель политропны газопорошкового потока, $\mu = m_2 /\rho_н V_н$ – массовая концентрация порошка, R_1 – газовая постоянная несущего газа, t_o, p_o – температура и давление торможение, k – показатель адиабаты азота, ρ_o, ρ_2 –

плотность азота и порошка, $\psi = w_2/ w_1$ – коэффициент скольжения фаз, n – степень нерасчетности, c_{p_1}, c_2 – теплоемкость несущего газа и порошка, $p_г$, $t_г$ – давление и температура газа в полости конвертера, $g_ш$ – присоединенная масса шлака, $\Psi_ш$ – коэффициент скольжения шлака, $d_{кр}$, d_1 – диаметр сопла в критическом и выходном сечении,

m_2 – массовый расход порошка, $V_н$ – объемный расход несущего газа.

Результаты расчета и их анализ. Как следует из рисунка, чем выше концентрация порошка μ, тем ниже скорость w_{12} газовзвеси в выходном сечении сопла Лаваля и выше температура t_x при любой значении t_o. Так, если t_o = 200 °*C*, то увеличение μ с 0,2 *кг/кг* до 2 *кг/кг* приводит к снижению скорости w_{12} с 680 *м/с* до 480 *м/с*, а температура сверхзвуковой газопорошковой струи возрастает с 890 °*C* до 917 °*C*.

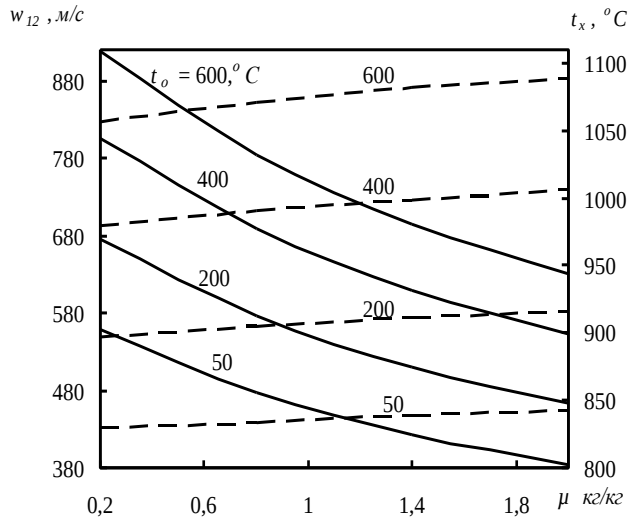


Рисунок – Влияние температуры торможения t_o на скорость истечения w_{12}(—) азотопорошковой струи из сопла Лаваля и среднемассовой температуры t_x (– –) при изменении концентрации порошка μ. Исходные данные: $t_г$= 1500 °*C*; $g_ш$ = 0,5; Ψ = 0,8; $\Psi_ш$ = 0,8; $V_н$ = 100 *м*^{3}*/мин*; $d_{кр}$ = 32 *мм*; d_1 = 49 *мм*; m_2 = (25 – 250) *кг/мин.*

Заметим, что если водоохлаждаемую фурму заменить на газоохлаждаемую или поставить в фурму специальный нагреватель, то повышение температуры t_o радикально влияет как на скорость w_{12} истечения из сопла, так и на температуру t_x. Например, если μ = 1,4 *кг/кг*, то повышение температуры t_o с 50 °*C* до 600 °*C* приводит к увеличению скорости w_{12} с 430 *м/с* до 700 *м/с* (в ~ 1,63 раза) и при этих условия мощность N_x одной из пяти струй увеличивается в ~ 2,7 раза. Это

чрезвычайно важно для технологии, когда нужно ~ 10т шлака в полости конвертера поднять на высоту ~ 8 метров. При увеличении t_o с 50 °*C* до 600 °*C* t_x возрастает с 847 °*C* до 1096 °*C*.

Внедрение рассмотренного расчетного комплекса, включающего ~ 50 уравнений газодинамики и теплообмена четырехфазного потока, которые решаются совместно, позволяет сократить время при реализации масштабной программы радикального ресурсосбережения в металлургии.

УДК 669.162.16

В. П. Лялюк, Е. О. Шмельцер, И. А. Ляхова, М. В. Кормер

Криворожский металлургический институт НМетАУ, Кривой Рог

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УГОЛЬНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОБАССЕЙНОВОЙ БАЗЫ КОКСОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО КОКСА

Самым важным направлением совершенствования технологии доменной плавки, которое остаётся актуальным и должно опережать в своём развитии все остальные – это обеспечение доменных печей высококачественными шихтовыми материалами и прежде всего коксом. Качество кокса является одним из главных параметров, определяющих ход и результаты доменной плавки. В доменной плавке кокс выполняет функции комплексного энерго-технологического материала. В процессах его превращений у фурм выделяется основная часть необходимой для процессов плавки теплоты и образуется основная часть восстановительного газа, к которому в вышерасположенных горизонтах добавляется дополнительная часть газа от прямого восстановления. Кроме указанных энергетических функций кокс выполняет функцию твердой насадки в зоне размягчения и плавления железосодержащих материалов, обеспечивающей противоток шихты и газов в печи, а также функцию регулятора газораспределения по площади поперечного сечения агрегата. В связи с этим к качеству кокса и предъявляются высокие требования.

Угольная сырьевая база коксохимического производства ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог”, как и большинства коксохимических предприятий Украины, носит многобассейновый характер. Использование импортного сырья связано как с дефицитом украинских углей соответствующего качества (низкое содержание серы,

индекс основности $И_0$≤2,5), так и с повышением требований к качеству кокса с целью уменьшения его расхода в доменной плавке, а также в связи с внедрением в доменном производстве технологии вдувания пылеугольного топлива.

Анализ качества кокса коксохимического производства (КХП) ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР), поступающего в доменные цеха ПАО АМКР показал, что использование в угольных шихтах углей различных бассейнов, существенно отличающихся друг от друга по технологическим свойствам, неритмичность поставки угольного сырья и колебания его физико-химических параметров снижают качество, стабильность показателей кокса и влияют на его гранулометрический состав. Так, установлено, что в последнее время (2008-2014 гг.) произошло перераспределение содержания классов крупности в валовом коксе с увеличением выхода классов >80 мм, <25 мм и 80-60 мм, а также ухудшение качества кокса по показателям прочности $М_{25}$ и истираемости $М_{10}$. На основании изучения динамики изменения гранулометрического состава кокса в зависимости от качественных показателей угольной шихты сделан вывод, что при постоянном технологическом режиме коксования одним из факторов влияния на крупность кокса является зольность угольной шихты, а также ее насыпная плотность, которая в свою очередь зависит от влажности и степени измельчения (содержания класса 3-0 мм). Повышение равномерности и однородности гранулометрического состава кокса может быть достигнуто при оптимальном уровне измельчения угольной шихты [1].

Также установлено [2], что колеблемость показателей качества шихты, в частности, влажности и зольности находится в достаточно тесной связи с колебаниями показателей качества кокса $М_{10}$ и $М_{25}$. Так, увеличение колеблемости (среднеквадратичного отклонения) влажности и зольности шихты на 1 % вызывает увеличение колеблемости показателя истираемости кокса на 0,1 %. За исследуемый период в условиях КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” колеблемость влажности и зольности угольной шихты доходила до 2 %, при этом $\sigma_{М10}$ – до 0,23 %, что в соответствии с данными исследований [3], обуславливает повышение расхода кокса на 3,7 % и снижение производительности доменной печи на 2,8 %. Необходимо отметить, что колеблемость содержания класса 3-0 мм в шихте от 0,15 до 0,85 % обусловила колеблемость показателей качества кокса $М_{10}$ от 0,14 до 0,23 % и $М_{25}$ и от 0,2 до 0,45 % [2]. Для доменного производства, расходующего в течение суток десятки тысяч тонн железорудного сырья и топлива, стабильность их свойств приобретает особое значение. Имеющиеся существенные колебания качества углей

требуют обязательного применения мероприятий по усреднению отдельных марок углей при их складировании и подаче в производство, а также организованного смешения угольной шихты.

Список литературы

1. *Лялюк В.П.* Влияние свойств сырья и технологии коксования на гранулометрический состав кокса / В.П. Лялюк, Е.О. Шмельцер, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим // Кокс и химия. – 2014. – №10. – С.29–35.

2. *Лялюк В.П.* Стабильность качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова и др. // Кокс и химия. – 2012. – № 8. – С. 19-24.

3. *Улахович В.А.* Оценка влияния качества кокса на показатели доменной плавки / В.А. Улахович, В.И. Солодков, К.А. Штец и др. // Металлург. – 1982. – № 7. – С. 16-18.

УДК 669.02

В. С. Мамешин, С. В. Журавльова

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

АЛЬТЕРНАТИВНІ ПРОЦЕСИ – ЧИ Є ПЕРСПЕКТИВИ?

Протягом останніх років в Україні стала вкорінюватися ідея необхідності структурної перебудови галузі чорної металургії, включаючи створення невеликих виробництв – міні-заводів, які формують "мобільну" пропозицію в галузі за ключовими ринковими позиціями та пошуку нових альтернативних процесів виробництва чорних металів. Нові напрямки ефективного розвитку конкурентоспроможності металургійної галузі стають на сьогодні одним з пріоритетів вдосконалення чорної металургії.

До теперішнього часу розроблена значна кількість альтернативних процесів одержання чорних металів, які різняться як за принципами дії, так і за конструктивною компоновкою агрегатів. У загальному вигляді «альтернативні» процеси виробництва чорних металів можна поділити на 4 групи.

Процеси першої групи (виробництво заліза прямого відновлення в агрегатах твердофазного відновлення з переробкою в електродугових печах), базуються на використанні для відновлення різних газів (CO, H_2 або їх суміші) або твердого

вугілля. У залежності від цього вони мають різні принципи роботи й конструктивне оформлення. Домінуючі позиції у світовому виробництві металізованої сировини займають шахтні процеси твердофазного відновлення, які базуються на використанні відновних газів. Це пов'язано з простотою конструкції цих установок, надійністю їх роботи та низьким вмістом шкідливих домішок (S,P) у металізованій продукції, оскільки відсутній контакт між окотишами та вугіллям.

Сутність процесів другої групи (виробництво вуглецевого напівпродукту в агрегатах рідкофазного відновлення з переробкою в кисневих конверторах) полягає у відновленні залізовмісних матеріалів енергетичним вугіллям при температурах 1400-1600°С з одержанням рідкого вуглецевого напівпродукту близького за хімічним складом до передільного чавуну. У якості шихти процеси цієї групи можуть використовувати, як часткововідновлені залізорудні матеріали (процеси Corex, FinexTecnored та ін.) так і сиру залізну руду (процеси Hismelt, Romelt, Ausiron).

Загалом, у різних країнах світу було розроблено й випробувано більше сорока процесів, призначених для заміни доменної плавки. У теперішній час у світі діє 7 установок Corex (2 - Китай, 4 - Індія, 1 - ПАР) сумарною річною продуктивністю близько 7 млн. т, 3 установки Finex (2 у Кореї, 1 в Індії) річною продуктивністю близько 3,5 млн. т.

Розробки процесів прямого одержання сталі з руди (3-я група) у цей час спрямовані на переробку залізовмісних відходів (шламів, окалини, руди) у сталь. Прикладами можуть слугувати: процес струменево-емульсійного рафінування, одержання високовуглецевої сталі в ротаційних похилих печах або перспективні процеси прямого електролізу залізної руди МОЕ, розробка яких перебуває на початкових етапах лабораторних досліджень.

Безперервні процеси виробництва сталі з рідкого чавуну (4-а група). Внаслідок складностей у керуванні безперервним технологічним процесом, високої витрати вогнетривів, низьких економічних показників і, найголовніше, появи й бурхливого росту процесів позапічної обробки сталі, не змогли скласти конкуренцію киснево-конверторним процесам і в цей час практично не застосовуються.

Висновок. У якості висновків слід сказати про перспективність розглянутих альтернативних процесів виробництва чорних металів. Процеси твердофазного відновлення довели свою конкурентоспроможність, перспективність їх розвитку визначається потребою електросталеплавильного виробництва у високоякісній первородній металошихті. Рідкофазні процеси виробництва чорних металів, на

даний момент, складно вважати реальними конкурентами доменному процесу, й поки їх варто розглядати лише як доповнення до нього. Однак якщо тенденція росту ціни на металургійний кокс залишиться, то можливе більш широке поширення рідкофазних процесів. Процеси третьої групи зараз являють інтерес, як спрямовані на утилізацію залізовмісних металургійних відходів і пилуватих руд, однак розробка більшості таких процесів перебуває на початкових стадіях, їх перспектива буде визначаться економічною ефективністю. Безперервні процеси виробництва сталі з рідкого чавуну не змогли явно довести своєї переваги перед «класичними» сталеплавильними агрегатами, на даному етапі їх перспективи досить сумнівні.

Список літератури

1.Worldsteelinfigures 2018 - WorldSteelAssociation, Brussels, Belgium 2017 - 30.p.

2. Worldsteelinfigures 2002 - WorldSteelAssociation, Brussels, Belgium 2003 - 24.p.

3. Безкоксова металургія заліза / В. П. Іващенко, О. Г. Величко, В. С. Терещенко, В. А. Чеченєв//. - Д. : РВА "Дніпро-ВАЛ", 2003. - 338 с.

4. Worlddirectreductionstatistics 2017 - EnglewoodCliffs, NewJersey, U.S.A. May, 2018 - 16.p.

5. *В.-П. Кепплингер* Современное состояние процессов жидкофазного восстановления железа // Черные металлы. – 2010. - № 1. С.19-29.

6. *С. Л. Ровин* Исследование работы ротационных наклоняющихся плавильных печей //Наука и техника. – 2016. - № 1. Т. . С.18-28.

7. *Ровин С.Л.* Использование ротационных печей для рециклинга железосодержащих отходов // Литье и металлургия. - 2014. № 1. С. 56–61.

8. *Dihua Wang, Andrew J. Gmitter, Donald R. Sadoway* Production of Oxygen Gas and Liquid Metal by Electrochemical Decomposition of Molten Iron Oxide// Journal of The Electrochemical Society, - 2011. № 6 (158). C. 51–64.

9. *Antoine Allanore* Features and Challenges of Molten Oxide Electrolytes for Metal Extraction //Journal of The Electrochemical Society, - 2015. № 1 (162). C. 13–22.

УДК 669.046.564.001

С. Г. Мельник[1], А. И. Троцан[2], В. И. Курпас[1], Б. Ф. Белов[2]

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

[2]Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев

КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ РАСКИСЛЕНИИ ФЕРРОАЛЮМИНИЕМ

По действующей технологии выплавки стали при выпуске железо – углеродистого полупродукта из конвертера в сталеразливочный ковш производится предварительное раскисление металла присадкой алюминия. Обычно для этого применяют вторичный алюминий марки АВ 87 по ГОСТ 295-98. Необходимость предварительного раскисления железо – углеродистого полупродукта обусловлена повышением активности кислорода в жидком металле в результате его пересыщения при продувке технически чистым кислородом, что приводит к ухудшению качества стали, перерасходу ферросплавов и опасному вспениванию шлака в начале выпуска. В бо́льшей степени это связано с организацией выплавки стали по технологии с «передувом» по отношению к основной реакции производства стали – реакции обезуглероживания и может быть объяснено, исходя из положений теории критических концентраций профессора С.И. Филиппова.

Согласно указанной теории, при окислении углерода в расплаве Fe-C по достижении определенной концентрации углерода, называемой критической $|C|_{KP}$, происходит изменение кинетических условий процесса обезуглероживания. До достижения критической концентрации углерода $|C|_{KP}$ процесс обезуглероживания находится во внешнедиффузионной области лимитирования и характеризуется избытком углерода в стали по отношению к равновесному по реакции обезуглероживания. При достижении $|C|_{KP}$ происходит изменение кинетических условий процесса – он переходит в область внутридиффузионного лимитирования, характеризуемую недостатком углерода, поступающего из расплава к реакционной поверхности. Обычно для стали критическая концентрация углерода составляет $|C|_{KP} = 0{,}10 - 0{,}20\ \%$ в зависимости от химического состава стали. При реализации выплавки стали по технологии с «передувом» концентрация углерода в

металле на повалке конвертера достигает 0,05 – 0,03 % и сопровождается ростом содержания сверхравновесного кислорода. В начале выпуска в сталеразливочный ковш из конвертера вместе с металлом попадает часть высокоокисленного конечного конвертерного шлака. Поэтому присаживаемый в металл алюминий АВ 87 частично идет и на раскисление шлака. Технология «передува» и попадание в ковш конечного конвертерного шлака с повышенным содержанием FeO приводят к повышенному расходу ферросплавов и раскислителя, ухудшению качества металла и увеличению себестоимости стали.

Исследования возможной замены алюминия АВ 87 на ферроалюминий проводили в условиях действующего производства на стали марок 10ХСНД, 09Г2С, S355J2, А32 и некоторых других. Металл выплавляли в большегрузных конвертерах с продувкой технически чистым кислородом, выпускали в сталеразливочный ковш, осуществляли внепечную обработку и разливали на МНЛЗ сериями методом «плавка на плавку». В процессе выпуска металла в сталеразливочный ковш присаживали под струю металла ферроалюминий марки ФА 30 с содержанием в нем алюминия 28 – 32 % и расходом, эквивалентным заменяемому количеству алюминия с учетом его возрастающего коэффициента усвоения.

Применение предварительного раскисления стали ферроалюминием марки ФА 30 вместо вторичного алюминия АВ 87 позволяет на 30 – 35 % (относительных), то есть примерно на 1/3, повысить усвоение алюминия в основном за счет изменения механизма и кинетических условий поведения алюминия, вызываемых различиями в физико-химических свойствах этих материалов: их плотности и температуры плавления. После присадки в жидкий металл куски алюминия и ферроалюминия в результате действия выталкивающей силы всплывают от днища ковша в верхние слои металла. При этом куски ферроалюминия плотностью 5,5–6,3 т/м^3 всплывают в металлическом расплаве, имеющем плотность 7,0 т/м^3, до границы со шлаковой фазой (плотность шлака 2,9 т/м^3) и продолжают растворяться, находясь в металле на границе металл/шлак. Алюминий плотностью 2,7 т/м^3, всплывая из металла вдвое быстрее, чем ферроалюминий, проходит эту границу и продолжает свое движение в шлаке до выхода на его поверхность и прямого контакта с атмосферным кислородом, где и происходит его окончательное окисление.

Указанная технология, включающая частичную замену алюминия АВ 87 на ферроалюминий ФА 30, в течение пяти лет успешно применялась для производства

качественной стали в одном из конвертерных цехов Украины. Весь металл, произведенный с применением технологии предварительного раскисления ферроалюминием, был отгружен по заказам. Экономический эффект от применения этой технологии в результате снижения затрат при замене вторичного алюминия АВ 87 на ферроалюминий ФА 30 составлял более 3 грн/т стали.

УДК 669.18.046.5

С. Г. Мельник

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

ТЕРМОДИНАМИКА ПОВЕДЕНИЯ ВОДОРОДА В КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АТМОСФЕРЫ

Для высококачественных сталей ответственного назначения, изделия из которых работают в сложных условиях, вполне закономерно требование о необходимости снижения в них концентрации водорода до 3, а в ряде случаев и до 1 ppm, что существенно улучшает служебные свойства металлопродукции. Водород при производстве конвертерной стали попадает в металл с шихтовыми материалами, из огнеупоров, через шлаковую фазу и из атмосферного воздуха.

Если переход водорода из газовой в металлическую фазу представить как

$$\frac{1}{2}\{H_2\} \leftrightarrows [H] \ , \qquad (1)$$

то константу равновесия этой реакции $K_{|H|}$ можно определить равенством

$$K_{|H|} = \frac{\alpha_{|H|}}{\sqrt{P_{\{H_2\}}}} \ , \qquad (2)$$

где $\alpha_{|H|}$ - активность водорода в стали; $P_{\{H_2\}}$ - парциальное давление водорода в газовой фазе, атм.

Активность водорода при его растворении в стали $\alpha_{|H|} = f_{|H|} \cdot |H| \ , \qquad (3)$

где $|H|$ - содержание водорода в стали, %; $f_{|H|}$ - коэффициент активности водорода в стали.

Из (2) и (3) $K_{|H|} \cdot \sqrt{P_{\{H_2\}}} = f_{|H|} \cdot |H| \qquad (4)$ и $|H| = \frac{K_{|H|}}{f_{|H|}} \cdot \sqrt{P_{\{H_2\}}} \ . \qquad (5)$

Константу равновесия K_H, зная температуру *T*, можно определить по уравнению [1]:

$$lgK_H = -\frac{1900}{T} - 1{,}577 \quad . \tag{6}$$

Из уравнений (4) и (5) для содержания водорода в стали получим

$$|H| = \frac{K_{|H|}}{f_{|H|}} \cdot \sqrt{\frac{P_{\{H_2O\}}}{K_O \cdot \alpha_{|O|}}} \quad . \tag{7}$$

Исходное парциальное давление водяного пара в газовой фазе $P^{ИСХ}_{\{H_2O\}}$ состоит из суммы парциальных давлений водорода $P_{\{H_2\}}$ и водяного пара $P_{\{H_2O\}}$

$$P^{ИСХ}_{\{H_2O\}} = P_{\{H_2\}} + P_{\{H_2O\}} \quad . \tag{8}$$

С целью определения возможного наводороживания стали найдем парциальное давление водорода в газовой фазе $P_{\{H_2\}}$ для реакции $|O| + \{H_2\} \leftrightarrows \{H_2O\}$ [1,2]:

$$P_{\{H_2\}} = \frac{P_{\{H_2O\}}}{K_O \cdot \alpha_{\|O\|}} \quad . \tag{9}$$

Константа равновесия реакции взаимодействия кислорода с водородом K_O при температуре T может быть определена из уравнения [1]:

$$lgK_O = \frac{64900}{T} - 2{,}976 \, . \tag{10}$$

Из уравнения (8) с учётом (9) получаем равенство:

$$\frac{P_{\{H_2O\}}}{K_O \cdot \alpha_{|O|}} = P^{ИСХ}_{\{H_2O\}} - P_{\{H_2O\}} \quad . \tag{11}$$

После проведения необходимых преобразований:

$$P_{\{H_2O\}} = \frac{P^{ИСХ}_{\{H_2O\}} \cdot K_O \cdot \alpha_{|O|}}{1 + K_O \cdot \alpha_{|O|}} = \frac{P^{ИСХ}_{\{H_2O\}}}{\frac{1}{K_O \cdot \alpha_{|O|}} + 1} \quad . \tag{12}$$

Содержание водорода в стали $|H|$ по уравнению (7) с учётом выполненных преобразований можно представить следующим равенством:

$$|H| = \frac{K_{]H]} \cdot \sqrt{\frac{P_{\{H_2O\}}}{K_O \cdot \alpha_{|O|}}}}{f_{|H|}} = \frac{K_{|H|} \cdot \sqrt{\frac{P^{ИСХ}_{\{H_2O\}}}{1/K_O \cdot \alpha_{|O|} + 1} \cdot \frac{1}{K_O \cdot \alpha_{|O|}}}}{f_{|H|}} = \frac{K_{\|H\|} \cdot \sqrt{\frac{P^{ИСХ}_{\{H_2O\}}}{1 + K_O \cdot \alpha_{|O|}}}}{f_{]H]}} \, . \tag{13}$$

Результаты расчетов (расчеты выполнены Е.И. Быковым) насыщения стали водородом в реальных условиях при производстве трубной стали Х70 по стандарту API 5L на основе данных термодинамического анализа представлены в виде графиков на рис.

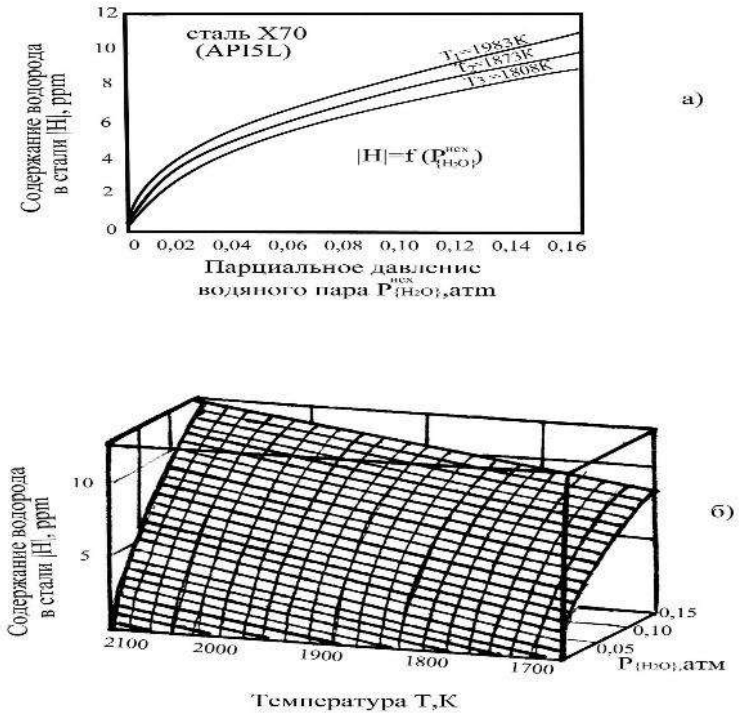


Рис. Влияние температуры *T* (б) и парциального давления водяного пара $\mathrm{P}^{\text{исх}}_{\{\mathrm{H_2O}\}}$ (а) на равновесную концентрацию водорода $\left|\mathrm{H}\right|$ в стали X70 (API5L)

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении парциального давления водяного пара $P_{\{H_2O\}}$ от 0 до 0,15 атм содержание водорода в стали $\left|H\right|$ может достигнуть от 8,5 до 10,5 ppm в зависимости от температуры стали T.

Список литературы

1. *Казачков, Е.А.* Расчёты по теории металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1988. 288с..

2. *Мельник С.Г., Быков Е.И.* Термодинамический анализ удаления водорода из штрипсовой стали по стандарту API 5L при ее производстве в большегрузных конвертерах / International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEE. 2004. - N. 11 (19). – P. 24 – 26.

УДК 669.431.6

А. П. Мешалкин[1], А. В. Белый[2], В. Ю. Камкин[1], Н. А. Колбин[1], Р. В. Анкудинов[1]

[1]Национальная металлургическая академия, г. Днепр,

[2]Научно промышленно-коммерческое объединение ТАТА, Запорожье

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ВТОРИЧНОЙ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ЗАПОРОЖСКОГО РЕГИОНА В МЕТАЛЛУРГИИ

Современное состояние черной металлургии Украины и, конкретно, сталеплавильного производства, от эффективности функционирования которого зависит надежность и прочность оборонного щита страны, можно охарактеризовать следующим образом: снижение и неконтролируемое использование запасов природных ресурсов минерального сырья и топлива, ухудшение экологического состояния почвы, воздушного и водного бассейнов, невысокая конкурентная способность металлопродукции. Наиболее рациональным путем решения этой комплексной проблема представляется разработка и внедрение комплекса технологических решений, основанных на сбалансированном применении в основных металлургических процессах запасов сырья и топлива, созданных природой. Концепция их сбалансированного использования может быть эффективно реализована путем физико-химического обоснования, разработки и внедрения рациональных схем рецикла техногенных отходов в металлургические процессы, позволяющих снизить уровень затрат сырья и энергии на производство конечной металлопродукции и улучшить экологическое состояние промышленно развитых регионов Украины.

Важным условием, позволяющим решить эти взаимосвязанные задачи, является достижение более полного использования потенциала их полезных свойств. Основными стадиями решения комплексной задачи по их эффективному возврату в основное производство являются:

- разработка энергоэффективных, ресурсосберегающих способов термохимической обработки исходных шихт на основе техногенных отходов при сбалансированном применении сырья и топлива природного происхождения;

- производство инновационных материалов, расширение спектра их функционального назначения путем изменения компонентного состава исходных шихт и корректировки параметров их термохимической обработки. Важным

моментом, определяющим энергоэффективность этой стадии, является более полное использование потенциала вторичной энергии отходов, их тепловой и топливной составляющих;

- разработка рациональных схем их применения при выплавке и внепечной обработке стали;

- анализ достигаемых при производстве и применении материалов на основе техногенных отходов положительных эффектов синергии.

На основании данных химического, компонентного, фракционного составов и физических свойств опытных образцов техногенных отходов, предоставленных НПКО ТАТА, г. Запорожье, сделан прогноз технологических эффектов, достигаемых при производстве и применении опытных шлакообразующих материалов на их основе.

Компонентный состав исходной шихты, которая подвергалась тепловой обработке с целью получения шлакообразующих материалов комплексного назначения, включал следующие техногенные отходы: шлам сталеплавильного производства, отсев дробления известняка, мелкодисперсная известь из циклонов газоочистки, микрокремнезем, шлам нейтрализации электрокорунда и карбида кремния, зола уноса ТЭС и углеродсодержащий отход растительного происхождения - лигнин из отвалов бывшего Запорожского гидролизного завода.

Соотношение указанных компонентов-отходов были выбраны с целью получения шлакообразующих материалов комплексного назначения с модулем основности около 2,3, которые используются для раннего наведения активного жидкоподвижного шлака, доведения до более полной завершенности дефосфорации и десульфурации стали и проведения предварительного углеродного раскисления стали в печи. Этот опытный материал был использован взамен присадок извести, известняка и шамотного боя, которые осуществляются, согласно технологической инструкции ТИ 226-СТ. М-01-2014, после расплавления лома при выплавке нестареющей стали 08Ю при температуре не менее 1570°С и содержании углерода ~ 0.70%.

Результаты высокотемпературного моделирования свидетельствуют о целесообразности использования новых материалов на основе ряда техногенных отходов, обеспечивающих сбережение природных ресурсов сырья и энергии, уменьшение негативного влияния техногенных отходов на окружающую среду и здоровье человека, без ухудшения качества металла.

УДК 628.17

А. Г. Мешкова, С. В. Кравцов, С. Е. Сулименко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время на современных металлургических предприятиях, оборотное водоснабжение – это неотъемлемая часть технологического процесса производства. При этом на предприятии создается единый комплекс, объединяющий в себе водоснабжение, водоотведение и очистку сточных вод (с целью повторного их использования и возможной утилизации полученных отходов).

В литейном производстве вода расходуется, главным образом, на охлаждение обрудования, увлажнение формовочной смеси, гидравлическую очистку литья и т.д.

Водоснабжение литейных цехов предусматривает две системы: первая предназначена для охлаждения индукционных печей и стержневых машин, вторая – для очистки отходящих газов, выбивной установки для форм, приготовления формовочной смеси в смесителях и т. д.

Для первой системы требуется вода с минимальной жёсткостью (менее 5 мг-экв/л), температурой менее 15 °С, количеством взвешенных веществ менее 10 мг/л, pH 6,5-8,5. Для второй системы требования к качеству циркулирующей воды гораздо ниже: температура менее 28 °С, количество взвешенных веществ менее 100 мг/л, концентрация масел и нефтепродуктов – менее 20 мг/л [1].

Различают также два вида сточных вод – от первой системы –условно «чистая» вода с повышенной температурой (25-35 °С); от второй системы – вода загрязнённая пылью, формовочной землёй, окалиной и имеющая температуру 25-40 °С. Количество сточных вод собственно от литейного производства (без воды от смыва полов и очистки воздуха) составляет от 6 до 10 $м^3$ на 1 т литья.

Системы очистки оборотной воды ориентированы на решение следующих основных проблем, возникающих в системах оборотного водоснабжения, как образование накипи и различных отложений, коррозионные процессы и биологическое обрастание, загрязнения оборотной воды солями, продуктами

коррозии и пылью. От рационального решения этих проблем зависит эффективность функционирования систем оборотного водоснабжения.

Ланжелье предложил использовать разработанную им формулу для оценки термостабильности раствора. Формула основана на определении степени насыщения раствора карбонатом кальция. Нестабильность раствора приводит или к образованию накипи или коррозии. Уравнение выражает влияние pH, концентрации кальция, общей щелочности, растворенных веществ и температуры на растворимость карбоната кальция для вод в диапазоне от 6,5 до 9,5 pH.

$$pHs = (pK_2 - pKs) + pCa + p\,Alk \quad (1)$$

Формула для определения индекса насыщения:

$$I_H = pH - pH_S \quad (2)$$

Если индекс положительный, то карбонат кальция имеет тенденцию к образованию. Если индекс отрицательный, карбонат кальция имеет тенденцию к растворению отложений и коррозии. Если индекс равен нулю – это состояние равновесия системы.

Расчет pHs упрощен использованием различных номограмм, приведенных в справочной литературе [2, 3].

Значения индексов, рассчитанных на основании параметров качества воды, позволят дать правильные рекомендации по избранию оптимального режима обработки циркулирующей воды.

Список литературы

1. Проектирование литейных цехов. Машины литейного производства. Учебное пособие. /*А.Н. Болдин, Е.А. Резчиков, А.Н. Граблёв, Е.А. Осипов.* – М.: МГИУ, 2010. – 435 с.

2. *Волков А.И., Жарский И.М.* Большой химический справочник. – Минск: Современная школа, 2005. – 608 с.

3. *Валкіна О.М, Вєрнєзі С.А., Хоружий В.П.* Хімія води та мікробіологія: Навчальний посібник. – Сімферополь; ВД «АРІАЛ», 2011. – 246 с.

УДК 669.182.71

В. Л. Найдек, А. В. Наривский, В. И. Курпас, С. Г. Мельник, А. А. Сычевский

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

КОВШЕВАЯ ОБРАБОТКА КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ АКТИВНЫМИ ШЛАКОВЫМИ РАСПЛАВАМИ

Проблема утилизации техногенных, в том числе металлургических, образований в связи с продолжающимся их накоплением остается актуальной. При рафинировании металла в сталеразливочном ковше во время выпуска из плавильного агрегата углеродистого полупродукта применяют рафинировочные шлаки, которые формируют в сталеразливочном ковше с использованием жидких конечных шлаков и твердых шлакообразующих смесей. Идея повторного использования в технологических процессах производства стали отработанных конвертерных шлаков с целью сбережения энергетических и природных сырьевых ресурсов и улучшения экологической обстановки в прилегающей к отвалам местности имеет практический интерес.

Полезное использование теплового и физико-химического потенциала отработанных сталеплавильных шлаков может быть осуществлено путем формирования рафинировочного шлакового расплава в сталеразливочном ковше в процессе выпуска плавки или путем синтезирования его в специальном агрегате – шлаковом реакторе конвертерного типа, позволяющим раздельно сливать шлаковый расплав и металлический продукт, образующийся в результате восстановительного рафинирования шлака. Экспериментами в электродуговой установке показана возможность снижения концентрации серы в шлаке при электрошлаковом рафинировании стали. В процессе электродуговой обработки содержащаяся в шлаке сера удаляется в атмосферу. После такой обработки полученный шлак может использоваться многократно для десульфурации следующих порций металла.

В промышленных условиях регенерацию отработанных сталеплавильных шлаков выполняли в специальном шлаковом реакторе. Формирование рафинировочных шлаков с требуемыми металлургическими свойствами осуществляли присадкой алюминий - и углеродсодержащих реагентов с добавками извести, плавикового шпата и других материалов. Для перемешивания и подогрева шлака, усреднения его состава и температуры использовали погружные

газокислородные или плазменные горелки с восстановительным или нейтральным потенциалом газовых струй. Степень десульфурации стали, обработанной в сталеразливочных ковшах емкостью 250 т синтезированными в реакторе шлаками составила 42 – 45 %. Сравнительные плавки без такой обработки обеспечивали в 2,5 раза меньшую среднюю степень десульфурации стали. Причем, при практически полном восстановлении оксидов железа в шлаке количество образующегося металлического расплава достигало 10 – 25 % от массы шлака.

Регенерация конечного конвертерного шлака также может быть осуществлена методом алюмотермического восстановления оксидов в сталеразливочном ковше, обеспечивающим приход довольно значительного количества тепла экзотермических реакций. Для этого перед выпуском плавки в ковш сливали конечный конвертерный шлак из расчета 3 -10 кг/т стали с одновременным добавлением алюминия в количестве 0,3 – 1,0 кг/т стали. После небольшой выдержки на сформированный активный рафинировочный шлак из конвертера выпускали металл, в который присаживали по ходу выпуска кусковую твердую шлакообразующую смесь на основе извести и плавикового шпата. В результате алюмотермического восстановления металла из шлака и последующей присадки шлакообразующей смеси получали жидкий шлак с повышенной основностью по составу приближающийся к рафинировочному известково-глиноземистому шлаку. Сопоставлением результатов химического анализа шлаков до регенерации и после установлено снижение концентрации оксидов железа и марганца, а также увеличение концентрации оксида алюминия. Степень десульфурации стали при внепечной обработке сформированным шлаком зависела от количества шлака, концентрации в нем оксидов железа, окисленности металла, удельной энергии перемешивания шлаковой и металлической фаз в ковше. В среднем она составляла 34 % при максимально достигнутой 64 %. Расчеты показали, что применение в процессе производства стали жидких сталеплавильных шлаков позволяет экономить на каждой тонне метала около 2200 МДж или 75 кг у.т.

Таким образом, в результате лабораторных и промышленных исследований показано, что регенерация конечных конвертерных шлаков в сталеразливочном ковше, как и в шлаковом реакторе, позволяет, сохраняя физическое тепло шлака и его минеральную составляющую, синтезировать расплав шлака, приближающийся по составу к жидким известково-глиноземистым синтетическим шлакам.

Приведенные технологии производства стали с применением синтезированных шлаков направлены на снижение техногенных образований при производстве сталей и позволяют, наряду с повторным использованием металлургических шлаков, повышать служебные свойства металлопродукции.

УДК 696.18

К. Г. Низяев[1], А. Н. Стоянов[1], Д. П.Васильев[2], Е. В.Синегин[1], Л. С.Молчанов[1]

[1]Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

[2]Днепровский металлургический завод, г. Днепр

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

Выполнен статистический анализ кампаний работы периклазоуглеродистых огнеупоров работы конвертерных цехов. Из анализа исключены кампании плавок при использовании различных типов головок кислородных фурм, поскольку одним из значимых факторов влияющих на износ огнеупоров являются параметры реакционной зоны, которые в свою очередь определяют ход процесса шлакообразования. На протяжении анализируемого периода применялись огнеупорные материалы следующих производителей: R.X.I., Долмонд, Harima, Дуферко.

Согласно данными основной причиной вывода из эксплуатации кислородных конвертеров является интенсивный износ и разрушение футеровки шлемовой части практически до уровня брони (металлического кожуха) и в меньшей мере разрушение футеровки всего рабочего пространства и со значительной выработкой в цилиндрической околоцапфенной части (остаточная толщина огнеупорного материала ≤ 100 мм).

Учитывая, что в различных зонах кислородного конвертера протекают различные физико-химические процессы, то различные участки футеровки целесообразно выполнять из различных по химическому составу огнеупорных материалов (различное содержание углерода и магнезита).

Выполнен анализ применяемых схем (зон) футеровки кислородных конверторов применяемых в условиях ККЦ и проведено сопоставление с результатами мировой практики.

В соответствии с данными приведенными в табл. в огнеупорных материалах шлемовой части, применяемых в ККЦ, завышено содержание углерода, что приводит к их интенсивному износу, за счёт окисления углерода окислительной газовой средой.

Таблица – Сопоставление химического состава конвертерных огнеупорных материалов, применяемых в условиях ККЦ с мировой практикой

№ п/п	Зона футеровки	Проект фирмы “DOLMOND”		Мировая практика	
		MgO, %	C, %	MgO, %	C, %
1.	Шлемовая часть	79	12	≥ 80	5 – 7
2.	Шлаковый пояс	82	12	80 - 90	10 – 15
3.	Околоцапфенные зоны*	78	14	70 – 80	12 – 18
4.	Ванна	86	8	85 - 90	6 – 10

* - в мировой практике обязательной составляющей огнеупорных материалов для околоцапфенных зон являются антиоксиданты.

Используя данные актов слома футеровки и журналов эксплуатации кислородных конвертеров были получены зависимости глубины разрушения футеровки в цапфенных зонах от длительности её эксплуатации при применении огнеупорных материалов различных производителей (см. рис.).

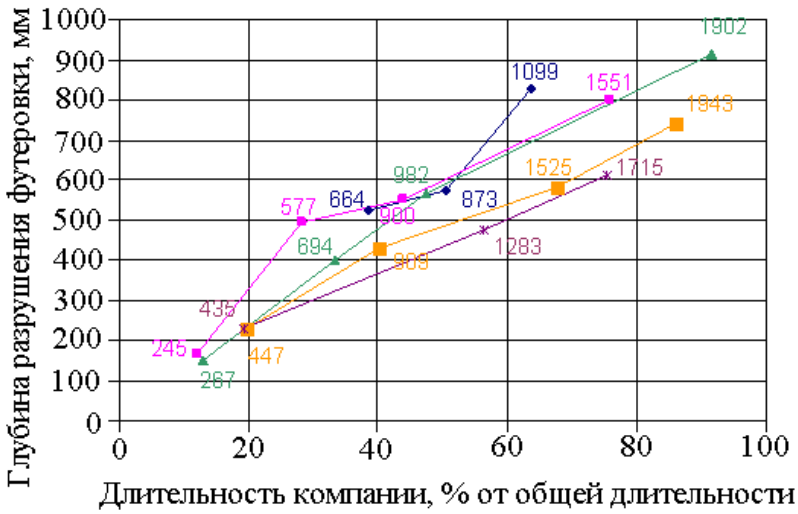


Рис. Зависимость глубины разрушения футеровки от длительности эксплуатации конвертеров (цифры у точек соответствуют количеству плавок от начала компании конвертера)

Анализ данных показывает что, скорость износа футеровки является неравномерной на протяжении всей компании конвертера. Наибольший износ претерпевает футеровка в первой трети компании эксплуатации кислородных конвертеров.

УДК 669.18

К. Г. Нізяєв[1], О. М. Стоянов[1], Д. В. Дербеньов[2], В. В. Черевань[1]

[1]Національна металургійна академія України, м. Дніпро

[2]ОП Металургпром, м. Дніпро

ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЕУТВОРЕННЯ В КИСНЕВОМУ КОНВЕРТОРІ ВЕРХНЬОГО ДУТТЯ

Дослідження проводили на шляхом продувки рідкої ванни киснем на моделі 60-т конвертора, який був виготовлений з прозорого плексигласу в масштабі 1:10 за допомогою фурм, головки яких мали 3, 4 або 5 основних сопел Лаваля. В табл. приведені параметри головок кисневих фурм, що були досліджені з точки зору хвиле утворення конвертерної ванни.

Таблиця – Параметри головок кисневих фурм

Кількість сопел								
Лаваля	3			4			5	
- кут нахилу сопел до вертикальної осі α_1,град.	10	14	18	12	16	20	12	16
- кут розкриття конфузоруα_2,град.	15	15	15	15	15	15	15	15
- кут розкриття дифузору α_3, град.	8	8	8	8	8	8	8	10
Діаметри, мм:								
- масиву сопел d_1	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
- вхіднийd$_2$,	3,2	3,2	3,2	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
- критичний d_3	3,0	3,0	3,0	2,6	2,6	2,6	2,3	2,3
- вихідний d_4	3,8	3,8	3,8	3,3	3,3	3,3	3,0	3,1
Довжина сопла, мм.	6,7	6,7	6,7	6,6	6,6	6,6	6,5	6,5

В якості моделюючої рідини використовували воду. З метою покращення якості відео зйомки передня стінка конвертора була зроблена плоскою.

Під час проведення експериментів разом з візуальною фіксацією поведінки ванни вимірювали висоту та довжину хвиль, які утворювалися під впливом газових струменів. Усі досліди були зафільмовані на високошвидкісну відеокамеру з частотою запису 400 кадрів/с.

Встановлені 3 режими утворення хвиль в ванні конвертора.

Перший режим – режим плавного хвиле утворення. Цей режим спостерігається при незначної інтенсивності продувки при використанні всіх типів фурм.

В цьому режимі хвиля утворюється за рахунок виходу бульбашок кисню з реакційної зони і має досить чітко виражену структуру. Хвиля, що утворилася, рухається в напрямку від центра конвертора до його стінок, б'ється о стінку з утворенням незначного сплеску, висота якого , як правило, не перевищує висоту хвилі, обрушується вниз, після чого процес повторюється. Цей режим спостерігається у випадках, коли довжина хвилі не кратна і менш половини діаметра конвертора.

У випадках, коли довжина хвилі становиться кратною або рівною половині діаметра конвертора спостерігається другий режим хвиле утворення – режим гасіння хвиль.

При другому режимі хвиля, що утворилася рухається, як і попередньому випадку, в напрямку стінки конвертора, б'ється об неї з утворенням сплеску. Але в цьому випадку, в той момент, коли хвиля обрушується вниз, на стінку конвертора набігає наступна хвиля, енергія якої поглинається впадиною, яка утворилася під час обрушення попередньої хвилі, і на деякий час поверхня ванни заспокоюється. Після цього процес повторюється з деякою періодичністю.

Третій режим хвиле утворення – інтенсивного хвиле утворення. Він спостерігається, коли довжина хвилі стає більше половини діаметра конвертора і набуває найбільш ярко вираженого характеру коли довжина хвилі стає рівною та перевищує діаметр конвертора. Цей режим супроводжується значним хвиле- та бризко утворенням, великою висотою сплесків біля стінок конвертора. При цьому, в одному випадку, сплеск утворюється симетрично біля протилежних стінок конвертора. В другому випадку утворення сплеску біля однієї стінки конвертора супроводжується утворенням впадини біля протилежної стінки конвертора.

УДК 696.162.267.6

К. Г. Низяев[1], А. Н. Стоянов[1], З. Табатадзе[2], В. В. Черевань[1]

[1]Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

[2]Руставский металлургический завод, г. Рустави

ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПОГРУЖАЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ

Существующий комплекс технологических решений, направленный на получение высококачественной стали с низким содержанием вредных примесей, в особенности серы, связан с многоступенчатым процессом. Этот процесс включает в себя:

- предварительную обработку чугуна;
- выплавку стали на «чистой», прежде всего по сере и фосфору, шихте;
- внепечную обработку стали.

В настоящее время все стадии этой технологии достаточно тщательно исследованы и нашли соответствующую реализацию в промышленности. Так, наиболее эффективным десульфуратором чугуна признаны магнийсодержащие реагенты. Степень усвоения железоуглеродистым расплавом гранулированного магния достигает 90 % и выше. При внепечной обработке стали наилучшие результаты достигнуты на установке «ковш-печь», с использованием в качестве десульфураторов как традиционных шлаковых смесей, так и порошковых проволок с различными наполнителями. Вместе с тем все вышеперечисленные технологии требуют для своего осуществления дорогостоящих, дефицитных реагентов.

Теплотехнические возможности установки «ковш-печь», в свою очередь, оказались ограничены. Повысить скорость нагрева металла выше 4-5 °С/мин практически невозможно из-за чрезмерно высокой тепловой нагрузки на огнеупорные элементы конструкции. Тепловой КПД работы установки «ковш-печь» составляет всего 40-60 % и не может быть повышен в связи с тем, что электрическая дуга горит на границе раздела металл-шлак, при этом часть тепловой энергии рассеивается в окружающее пространство. Повысить тепловой КПД процесса можно за счет погружения электрической дуги в объем железоуглеродистого расплава. Если же, при этом, обеспечить образование, в зоне высоких температур, газопаровой смеси из активных реагентов которые, выделяясь из реакционной зоны,

производили глубокую десульфурацию металла, то возможно создание нового, в некоторой степени универсального процесса внепечной обработки чугуна и стали, лишенного недостатков и сочетающего преимущества существующих, то есть процесса, совмещающего нагрев и рафинирование железоуглеродистого расплава, использование для обработки дешевых, широко распространенных материалов, их дозированный ввод и высокий коэффициент усвоения.

Впервые, в полупромышленном масштабе, реализована технологическая схема особо глубокой десульфурации чугуна и стали, исключающая использование дорогостоящих и дефицитных материалов (металлического магния, силикокальция и др.). Достигнута, за счет использования разработанных технологических и энергетических режимов обработки, степень десульфурации:

- чугуна, в полупромышленных условиях, - 90-98 %, при снижении содержания серы с 0,042 % до 0,003%, при степени использования магния – 95 %;

- стали, в лабораторных условиях при однократной обработке, - 90-95 %, при снижении содержания серы с 0,030-0,035 % до 0,002-0,003 %, при степени использования магния – 80-97 %.

Разработана и экспериментально решена, на основе исследования закономерностей процессов возникновения электрической дуги, задача стабильного возникновения устойчивого электрического разряда между рабочими концами электродов за счет установки между ними, в процессе формовки восстанавливаемого блока, смеси из тонкомолотого графита и жидкого стекла. Подобное решение сделало операцию изготовления восстанавливаемого блока технологичной и не нуждающейся в особых методах контроля.

Показано, что за счет использования разработанного комплекса технологических мероприятий возможно осуществить нагрев стали со скоростями 10-14 °С/мин, при повышении теплового КПД процесса на 15-20 % по сравнению с подогревом стали на установке ковш-печь.

УДК 669.18

К. Г. Нізяєв, В. І. Хотюн, О. М. Стоянов

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛІ ПОРОШКОПОДІБНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Стабільність технології інжектування характеризується багатьма факторами, але саме визначення оптимального фракційного складу визначає багато інших факторів такі як: режим витікання струменю, критичні швидкості витікання суміші та інші які впливатимуть на ефективність процесу введення реагенту у розплав. Таким чином визначення оптимального фракційного складу реагенту покладено у основу розрахунку параметрів технології.

Значною мірою стабільність ходу продувки залежить від режиму витікання газо-порошкової суміші в обсяг рідкого металу. В роботах [1, 2] зазначається, що бульбашковий режим сприяє виникненню намерзання металу на зрізі каналу витікання газо-порошкової суміші, так як рідина в проміжках між виходом бульбашок може затікати в продувну трубку. Це пояснюється тим, що в разі великих часток, що прилягають до поверхневого шару газу, шар останнього порівняно тонкий, тому значна його частка буде вільною. В результаті газ витрачається на утворення бульбашок. У разі дрібних частинок порошку приповерхневий шар газу виявляється відносно товстим, в результаті газовий потік більш тісно пов'язаний з частками, що веде до формування контакту рідини згазо-порошковою сумішшю. Таким чином вдування дрібнодисперсних частинок при високій концентрації порошку забезпечує стаціонарний режим струминного витікання, не створюючи умов для зворотного течії рідини в продувний пристрій.

В роботі виконані дослідження закономірностей альтернативного застосування технології розкислення металу в сталерозливному ковші кусковими феросплавами, під час випуску, з застосуванням спеціальних пристроїв для інжекції матеріалу у глибину металу, з метою його максимально можливого засвоєння розплавом.

На основі практичних та теоретичних досліджень визначено умови необхідного ступеня диспергування матеріалів, з точки зору стабільного ходу процесу інжекції та взаємодії реагенту. Розраховані і уточнені основні газодинамічні параметри процесу інжекції порошкоподібних реагентів, які забезпечать високопродуктивну і надійну

роботу пристроїв для введення порошків при забезпеченні необхідного, з точки зору кінетики процесу розкислення, часу взаємодії часточок з металом.

Встановлені наступні параметри обробки сталі:

- необхідна інтенсивність подачі порошку, 75 – 80 кг/хв;

- шляхом математичного моделювання визначено необхідний фракційний склад порошку. З метою мінімізації вірогідності закупорки випускного отвору продувного пристрою,знайдена критична концентрація у об’ємі газу носія, 74кг/м3;

- розрахунковим шляхом визначена гранично низька швидкість часточки, яка визначає можливість занурення її у розплав, вона склала 8,5 м/с проти мінімально необхідної 5,6 м/с;

- встановлено мінімально необхідну та фактичну швидкості потоку при яких на стінках трубопроводу не буде відбуватися осадження часточок порошку і склали 22,12 м/с та 52,76 м/с відповідно;

- по відомим залежностям визначено висоту газо-порошкового струменя у об’ємі розплаву 0,69 м;

- на основі фізико-хімічних властивостей матеріалів та теплофізичних явищ знайдено час розплавлення часточки 8,9·10-5 сек. та час її спливання: 1,27 сек при рівні металу 1 м (початок продувки) та 5,7 сек. при рівні металу 4,5 м (кінець продувки);

Встановлено, що застосування запропонованої технології дозволить знизити ступінь угару феромарганцю до 4 - 7%, що в середньому призведе до зниження його витрат на 0,64 кг/т сталі.

Перелік літератури

1. *Макналлан М.* Гидродинамика затопленых струй / М. Макналлан // Инжекцонная металлургия-80. Труды конференции ScanInjectII.– М.: Металлургия, 1982. –С. 114 – 115.

2. *Айронз Г.А.* Научные и практические аспекты конструирования фурм для вдувания порошков / Г.А. Айронз // Инжекцонная металлургия-86. Труды конференции ScanInjectIV.– М.: Металлургия, 1990. –С. 44 – 62.

УДК.669.162.212

А. Н. Стоянов, Б. М. Бойченко, К. Г. Низяев, Е. В. Синегин

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙ КОСТИ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ 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].

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 669.1.002.5.004.67

В. М. Папуча, С. О. Попов, В. Г. Зюзь

ТОВ «НТЦ «НІГРІ», м. Кривий Ріг

ТЕХНОЛОГІЯ ПРЯМОГО ВІДНОВЛЕНЯ ЗАЛІЗА ІЗ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКИМ ВМІСТОМ КОРИСНОГО КОМПОНЕНТУ

В Україні функціонує гірничо-металургійний комплекс (ГМК України), який за продуктивністю входить у десятку найбільш потужних у світі.

Особливість цього комплексу полягає у тому, що у його рамках реалізується повний виробничий цикл гірничо-металургійного виробництва. Цей цикл включає видобуток залізної руди та флюсів, збагачення видобутої рудної маси з виробництвом залізорудного концентрату і окатишів, металургійну переробку цієї сировини та виробництво товарної металургійної продукції. Для виконання цього циклу ГМК України має всі необхідні ресурси і виробничі потужності.

Наряду із цим, необхідно відмітити, що у функціонуванні цього комплексу має місце серйозна проблема, яка полягає у надто високих витратах ресурсів (матеріальних, трудових, енергетичних, фінансових) при виготовлені металургійної продукції, що негативно впливає на її собівартість. У середньому її собівартість перевищує 20-40% вказаний показник для країн Євроспілки.

Однією з найбільш ресурсоємних стадій цього виробництва є металургійна переробка залізорудного сировинного ресурсу. Це обумовлене застосуванням вкрай застарілої доменної технології металургійного виробництва.

На даний час перспективним напрямом розвитку металургійного виробництва у світі є застосування «Технології прямого відновлення заліза» (ТПВЗ). Ця технологія виключає необхідність виконання ряду вкрай ресурсоємних процесів і дозволяє суттєво знизити собівартість металургійної продукції.

При доменному виробництві, даний процес має такі стадії: залізорудний концентрат→окатиші→підготовка шихти→металургійний переділ→чугун/сталь. При використанні ТПВЗ цей процес має меншу стадийность, а саме: концентрат→брикетування→металургійний переділ→чугун/сталь.

У світі вже розроблено ряд варіантів ТПВЗ, які відрізняються за методами виконання певних процесів, використанням різних сировинних і допоміжних матеріалів, режимів переробки сировини. За цим технічні і економічні результати цих технологій також є різними, хоча всі вони є ліпшими за доменне виробництво.

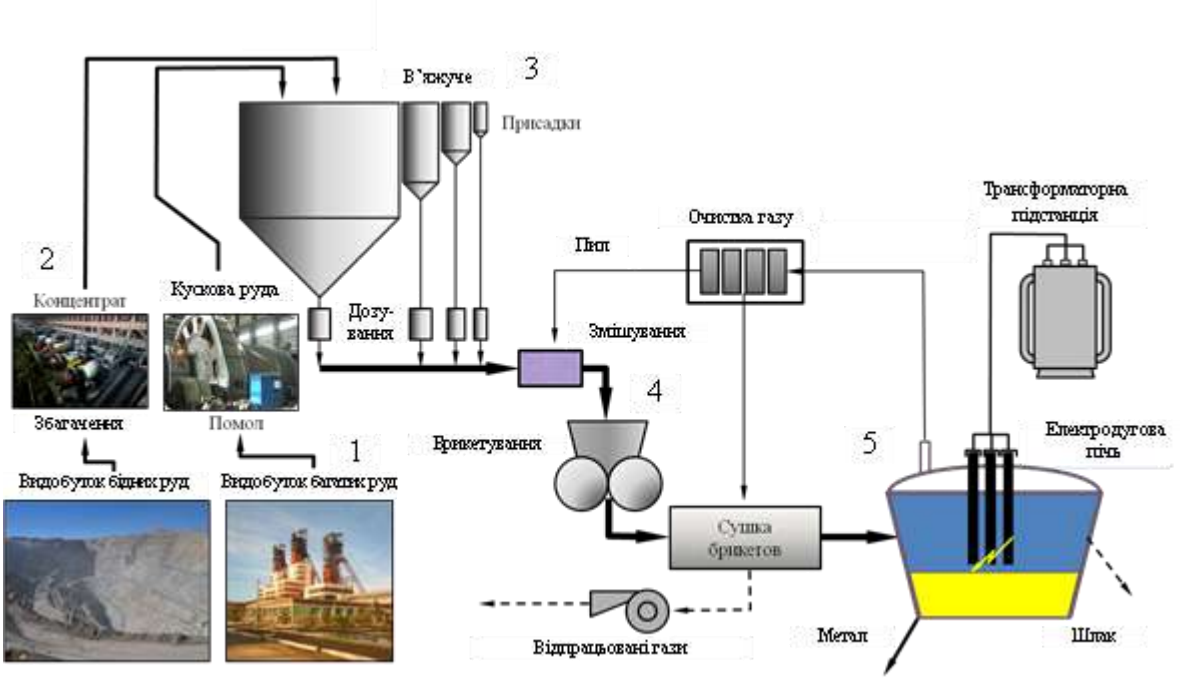
За сказаним вище співробітниками ТОВ «НТЦ «НІГРІ» пропонується розробленим ними варіант ТПВЗ, який адаптований до умов функціонування підприємств ГМК України. Загальна схема цієї технології наведена на рис. 1.

Вихідним сировинним ресурсом реалізації ТПВЗ є залізорудний концентрат або багата руда 1 з вмістом заліза *Fe*=60-70%. Технологія передбачає виготовлення з концентрату брикетів, підготовлених до металургійного переділу.

Процес брикетування включає: помол рудного матеріалу 2 до вмісту фракцій 45-55 мкм 90%; додавання паливної вуглевмісної добавки та присадок 3, які

сприяють відновленню заліза з окислів у хімічно чистий вид. Для кожного виду рудної сировини склад присадок є специфічним і підбирається залежно від мінералогічного складу концентрату, вмісту в ньому заліза та інших хімічних компонентів. Потім здійснюється виготовлення брикетів 4 розміром 32×30×15 мм або 64×69×39 мм, брикети виробляються за допомогою валкового преса.

Після брикетування отриманий матеріал піддається плавці в електродуговій або індукційній печі 5 при температурі 1350-1500 °С з безперервним завантаженням брикетів та періодичним випуском продуктів плавки.



Залежно від режиму плавлення й видів використовуваних присадок можуть бути отримані наступні продукти: чавун (дзеркальні або вибілений); різні види сталей (від вуглецевої до інструментальної).

Авторами буди виконані промислові випробування цієї технології, результати яких показали, що більш проста технологія даного методу дозволяє підвищити прибутковість виробництва в 1,2-1,5 рази в порівнянні із традиційними технологіями. Це досягається за рахунок скорочення витрати енергоресурсів (вугілля, газу) майже на 40%, скорочення основних фондів (необхідного устаткування, будинків, споруджень) майже в 2 рази, і відповідного зниження трудових витрат на виробництво металургійної продукції.

Однією з серйозних переваг ТПВЗ полягає у тому, що вона дозволяє створювати міні електрометалургійні заводи, які можна розташовувати прямо на території гірничодобувних підприємств і отримувати ними нові види продукції, такої

як: кулі для рудних млинів, броня для млинів, зубці екскаваторів, молотки дробарок та ін. Крім того, ТПВЗ дозволяє скоротити викид вуглекислого газу на 30% на кожну тонну виплавленої сталі у порівнянні із традиційним доменним процесом, надає можливість компенсувати зростаючий дефіцит металобрухту у країні й краще збалансувати роботу металургійних підприємств, одержати пряму економію на витратах на виробництво залізорудної продукції.

О. М. Перков[1], І. О. Вакуленко[2]

[1]Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

[2]Дніпровський національний університет залізничного транспорту, м. Дніпро

ВПЛИВ ОПЕРАЦІЇ ВІДПУСКУ НА ВНУТРІШНЮ БУДОВУ КОЛІСНОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ

Дослідження залежності комплексу властивостей від терміну витримки при різних температурах дозволяє оцінити кінетику і механізм процесів внутрішньої перебудови, що відбуваються в металі при відпуску. В процесі прискореного охолодження ободу колеса визначено, що збільшення відстані від поверхні кочення супроводжується зменшенням швидкості охолодження металу. На відстані 45 мм швидкість охолодження складає значення на рівні 2 град/с, а на відстані до 5 мм - приблизно 9 град/с. За умов збільшення швидкості охолодження сумісний вплив від подрібнення зерна аустеніту і диспергування перліту сприяє підвищенню характеристик міцності і пластичності. Одночасно з цим, піддаючи прискорено охолоджену сталь нагріву до визначених температур, слід очікувати зміни комплексу властивостей термічно зміцненого металу.

В якості матеріалу для дослідження була використана вуглецева сталь залізничного колеса з вмістом хімічних елементів: 0,57 % C, 0,65 % Si, 0,45 % Mn, 0,0029 % S, 0,014 % P, 0,11 % Cr. Залізничне колесо піддавали нагріву до температур вище Ac_3, витримки при цій температурі для завершення процесу гомогенізації аустеніту і прискореному охолодженню ободу до визначеної температури. Після прискореного охолодження колесо піддавалося відпуску при температурі 550 °C, різної тривалості витримки. Структуру вивчали з використанням електронного і світлового мікроскопів. Оцінку ступеня дефектності структури металу

після прискореного охолодження і відпуску здійснювали з використанням методик рентгенівського структурного аналізу. Межи міцності, плинності, характеристики пластичності вуглецевої сталі визначали при розтяганні. Швидкість деформації при механічних випробуваннях складала 10^{-3} $с^{-1}$.

Враховуючи параметри технології виготовлення термічно зміцненого залізничного колеса, дослідження кінетики структурних перетворень обмежувались температурою відпуску 550 °С. Аналіз характеру впливу температури відпуску на властивості показав співпадіння з відомими результатами досліджень термічно зміцненої вуглецевої сталі: збільшення температури відпуску призводить до зниження міцності і зростання характеристик пластичності металу. Для металу ободу на відстані 4-5 мм від поверхні кочення при температурі відпуску 550 °С вплив терміну витримки на залежність характеристик міцності може бути поділений на три ділянки. Для витримок тривалістю до однієї години зниження межи міцності не перебільшує 40 МПа. Зниження межі плинності ще менше – до 30 МПа. Як для витримок тривалістю 1 – 1,5 год., так і 2,5 год. величина зниження міцності залишилася практично незмінною. Зміна межи плинності, навпаки, має більш монотонний вигляд. В порівнянні з міцністю, межа плинності при подовженні витримок до 2,5 год. зменшується до 600-610 МПа.

Розвиток процесів пом’якшення при відпуску термічно зміцненого металу підтверджується характером зміни пластичних властивостей. Інтервалу витримок 1 – 1,5 год. відповідає максимальне підвищення значень відносних видовження і звуження. Із сумісного аналізу отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що при підвищенні ступеня зміцнення металу поблизу з поверхнею примусового охолодження, розвиток процесів пом’якшення буде тим більшим, чим більш суттєвим буде ефект підвищення міцності. З аналізу кінетики перетворення аустеніту в процесі прискореного охолодження визначено, що пом’якшення при відпуску сталі колеса починається від температур приблизно на 150 - 200 °С нижче температури початку перлітного перетворення.

Таким чином, рівень зміцнення повинен визначатися розвитком процесів фазового наклепу при перетворенні аустеніту в перліт. Взаємодія атомів вуглецю з дислокаціями при відпуску стає додатковим чинником впливу на комплекс властивостей термічно зміцненої сталі. Рентгенівськими структурними дослідженнями визначено, що після відпуску мінімальна концентрація дефектів

кристалічної будови відповідає прошаркам металу, що є найбільш наближеними до поверхні основного тепловідводу при охолодженні ободу колеса. З віддаленням об'ємів металу ободу від поверхні кочення, ефект пом'якшення знижується, а на відстані 45 мм вказана характеристика дорівнює мінімальним значенням.

УДК 669.168.004.12.001.8

А. Ф. Петров, О. В. Кукса, Л. А. Головко

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр

МОДЕЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОКАЛЬЦИЯ СТАНДАРТНЫХ МАРОК

В современном сталеплавильном производстве внепечная обработка кальцийсодержащими материалами является неотъемлемой частью технологии и занимает ведущее положение в связи с многофакторным влиянием кальция на физико-химическое состояние расплава, макро- и микроструктуру заготовки, качество и свойства металлопродукции [1]. Эффективность влияния кальция на свойства жидкой и твердой стали зависит от его усвоения при вводе в жидкий металл. Степень усвоения является одним из наиболее важных критериев эффективности ферросплава, напрямую зависящих от таких его основных характеристик как плотность, температура плавления. С температурой плавления связана скорость и полнота усвоения элементов сплава. Плотность ферросплава влияет на его положение и движение в расплаве, время и полноту усвоения элементов сплава.

В настоящей работе для прогнозной оценки температуры плавления и плотности силикокальция стандартных марок авторы рассматривают возможности использования разработанной методики, основанной на описании строения и свойств многокомпонентных расплавов и твердых растворов [2]. Информация о составе сплавов закодирована в виде параметра Zy, являющегося его электронным химическим эквивалентом, структурного параметра d. Избыточные параметры ΔZy и Δd, учитывают микронеоднородность структуры соответствующих расплавов.

Ниже приведены уравнения, записанные в терминах модельных параметров, для расчета по химическому составу: плотности (D·103 кг/м3), температуры начала и конца плавления (Т, °С) для различных марок силикокальция:

$$D = 16{,}4\ Z^{y} - 14{,}6\ \Delta Z^{y} - 14{,}3 \qquad r = 0{,}97 \qquad (1)$$

$$T_{н.пл} = 1666{,}3\ Z^{y} - 1743{,}7\ \Delta Z^{y} - 583{,}1 \qquad r = 0{,}96 \qquad (2)$$

$$T_{к.пл} = 752{,}2\ Z^{y} - 500{,}4\ \Delta Z^{y} + 346{,}6 \qquad r = 0{,}93 \qquad (3)$$

Таблица 1 – Сопоставление рассчитанных (1-3) и экспериментальных [3] значений физических свойств силикокальция различных марок.

Марка	$D\cdot10^{3}$, кг/м^{3}	$T_{н.пл}$, °С	$T_{к.пл}$,°С
СК10	4300/4110	1160/1146	1300/1286
СК15	3470/3550	1090/1092	1250/1245
СК30	2510/2580	980/988	1200/1181

*Числитель и знаменатель – экспериментальные и расчетные значения

Разработанные аналитические зависимости на основе интегральных параметров межатомного взаимодействия позволяют прогнозировать влияние изменения состава на свойства стандартных марок ферросплавов. Они могут быть использованы для оценки свойств как внутри отдельной марки, так и всего сортаментного ряда ферросплавов при оценке эффективности их применения на основных этапах сталеплавильного передела.

Список литературы

1. *Гизатулин Р.А.*, Валуев Д.В., Едешева Ч.В. Технология комплексной обработки металла на выпуске кальцием и алюминием // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С.32–35.

2. *Приходько Э.В.*, Петров А.Ф. 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.

3. Изучение свойств ферросплавов и лигатур для микролегирования и раскисления стали / В.С. Игнатьев, В.А. Вихлевщук, В.М. Черногрицкий [и др.]. // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 1988. № 6. С.37–42.

УДК 669.141.245:669:66.046.55

А. А. Похвалітий, Є. М. Сігарьов, В. П. Полєтаєв, О. В. Похваліта

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ВИПУСК ПЛАВКИ З КОНВЕРТЕРА З ОБРОБКОЮ РОЗПЛАВУ АРГОНОМ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ СТАЛЕВИПУСКНОГО КАНАЛУ

В останні роки в практиці металургійного виробництва спостерігається стійка тенденція до посилення вимог до стабільності хімічного складу сталі, а також до забруднення її шкідливими домішками, неметалевими включеннями. Основна частка неметалевих включень утворюється при розкисленні розплаву глибинним методом. Тому важливою умовою одержання низького вмісту неметалевих включень у готовій сталі є досягнення мінімальної окисленості металевого розплаву перед розкисленням. Знизити кількість неметалевих включень можливо при застосуванні вакуумно-вуглецевого розкислення з видаленням продуктів реакції в газову фазу.

Виконаний критичний аналіз технічної літератури вказує на можливість реалізації вуглецевого розкислення при витраті аргону в межах 0,4-1,2 $м^3$/т сталі при відсутності високоокисленого шлаку [1]. Досягти таких умов в конвертері проблематично і є економічно недоцільним. Знизити активність шлаку можливо у ковші при використанні ефективного відсікання шлаку. Проте продувка аргоном з витратою, достатньою для вуглецевого розкислення, значно підвищить час обробки (20-60 хв.). До того ж обробка металевого розплаву в ковші аргоном з зазначеною витратою може призвести до утворення великих по об'єму швидко спливаючих пузирів газу, який використовується неефективно і може стати причиною виникнення аварійних ситуацій через викиди розплаву з ковша. Тому виникла ідея застосування енергетичного потенціалу сталевипускного каналу конвертера для реалізації розкислення залишковим вуглецем в процесі випуску розплаву за рахунок обробки останнього інертним газом в робочому просторі льотки.

Ідея впливу на розплав газовими струменями в робочому просторі сталевипускного каналу виникла ще в 70-80х роках XX століття здебільшого для відсікання високоокисленого шлаку. В подальшому інертний газ запропонували також використовувати для виконання захисних і рафінувальних операції. Однак широке застосування ускладнене через відсутність відомостей про можливий ступінь розкислення розплаву залишковим вуглецем, а також відомостей про ступінь організації потоку металевого розплаву і захисний ефект інертного газу.

Для розробки технології вуглецевого розкислення за рахунок обробки розплаву інертним газом у робочому просторі сталевипускного каналу, з метою зменшення забрудненості розплаву неметалевими включеннями і економії розкислювачів, виконано комплекс досліджень спрямованих на вивчення особливостей і закономірностей впливу витратних характеристик інертного газу і конструктивних параметрів сталевипускного каналу на ступінь організації газометалевого потоку, захисну дію аргону і можливий ступінь розкислення при цьому з використанням сучасних методів фізичного і математичного моделювання.

За результатами досліджень [2] запропонована конструкція двокамерного сталевипускного каналу кисневого конвертера для реалізації обробки потоку розплаву аргоном на випуску (див. рис.). Раціональним співвідношенням діаметрів камер каналу є 1,2-1,5, а відносна довжина реакційної зони (другої камери) – 0,25-0,75 від повної довжини каналу при питомій витраті аргону 0,7-2,8 м^3/(т·год).

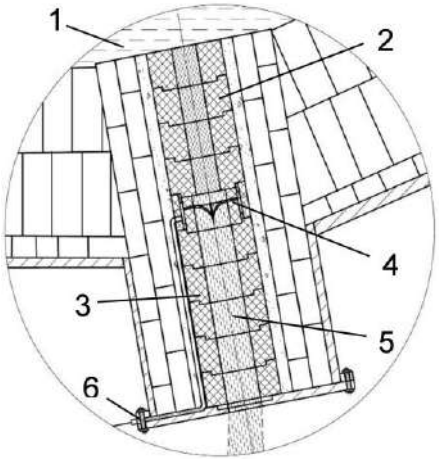


Рисунок – Схема двокамерного сталевипускного каналу з продувним блоком: 1 – металевий розплав; 2, 3 – перша і друга камера сталевипускного каналу відповідно; 4 – блок з продувними вузлами (соплами); 5 – ГМП; 6 – насадка з газопідвідною лінією

Очікуваний економічний ефект при реалізації запропонованої технології для умов конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат» складає 4311789 грн. на рік (2 грн./т сталі).

Список літератури

1. *Смирнов А.Н.* Внепечное рафинирование чугуна и стали / А.Н. Смирнов, А.М. Зборщик. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 186 с.

2. High-temperature modeling of hot metal tapping from the converter with argon supply to the tap hole cavity // A.A. Pohvalityi, A.D. Kulik, E.N. Sigarev, K.I. Chubin, M.A. Kascheev, A.N. Stoyanov / Metallurgical and Mining Industry. – 2017. – №5. – P. 46-50.

УДК.669 18:519.564

В. О. Рубан, О. М. Стоянов, К. Г. Нізяєв, Є. В. Синегін

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ХОЛОДНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ КОВШОВОЇ ВАННИ

Позапічна обробка металу є одним із найбільш ефективних напрямків ефективного підвищення якості та властивостей металопродукції масового призначення і ресурсозбереження в металургії. Одним з найбільш ефективних засобів зниження матеріало- та енергоємності сталі при обробці на установці «ківш-піч», є дотримання встановлених режимів продувки, що значно впливають на формування барботажної зони.

Для проведення досліджень гідродинаміки ковшової ванни при продувці через донні дуттьові пристрої була створена лабораторна установка для холодного моделювання.

Проведено холодне моделювання продувки сталі на моделі установки «ківш-піч» через донні дуттьові пристрої розташовані на периферії, для вивчення впливу інтенсивності продувки, а також особливостей гідродинамічних процесів, створення математичних моделей процесів у барботажній зони на границі метал-шлак. За результатами проведених досліджень, отримані залежності впливу витрат газу і кількості шлаку на відносну площу оголення дзеркала металу (див. табл.).

Таблиця – Вплив витрат газу і товщини шлаку на відносну площу оголення дзеркала металу

Товщина шлаку, мм	Витрати газу, л/хв		
	100	400	800
200	1%	61%	67%
220	1%	48%	63%
240	1%	43%	62%

Встановлено, що товщина шлаку не суттєво впливає на відносну площу оголення металу порівняно з витратами газу. При рафінуючій продувці зміна товщини шлаку на оголення дзеркала металу не впливає, тоді як при усереднюючій та інтенсивній продувці площа дзеркала металу оголюється приблизно на 43-61% та 62-67% відповідно, в залежності від товщини шлаку. Відмічено, що при використанні продувних блоків розташованих на периферії шлак зосереджується в протилежній стороні ковша від їх розміщення. Відмінною особливістю продувки через два продувних блока є утворення застійної зони. Методом статистичного аналізу отримані рівняння, які дають змогу визначити основні принципи формування барботажної зони і її впливу на шар шлаку при продувці через продувні блоки. Загальний вигляд рівняння, який дозволяє розрахувати відносну площу оголення дзеркала металу, наведено нижче:

$$S = 1{,}36 \cdot 10^{-26} \cdot \frac{q^{9,3}}{h_{шл}^{0,61}}, \%,$$

де q – витрати газу, л/хв;

h – товщина шлаку, мм;

S – відносна площа оголення дзеркала металу, %.

Отримана модель не в повній мірі описує стан шлаку, оскільки не брались до уваги критерії Рейнольдса і Вебера. За результатами розрахунку процесу видалення неметалевих включень встановлено, що відсоток видалених неметалевих включень зростає з 9 до 26 % при збільшенні витрати нейтрального газу зі 100 до 800 л/хв.

УДК 669.162.261.3

В. Б. Семакова[1], В. П. Русских[1], С. А. Кариков[2], В. В. Семаков[1]

[1]Приазовский государственный технический университет, Мариуполь

[2]ЧАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ РУДНЫХ НАГРУЗОК ПО РАДИУСУ КОЛОШНИКА ПРИ ЗАГРУЗКЕ ШИХТЫ ЦИКЛАМИ ПОДАЧ ААКК↓ И КААК↓

Наиболее часто доменные печи, оборудованные конуснымм загрузочнымм устройствами, загружают циклами подач ААКК↓-n, КААК↓-m, где n и m – число подач в цикле. Прямые подачи ААКК↓ (А – агломерат, К – кокс) значительно подгружают периферию только при неглубоких воронках поверхности засыпи (угол наклона к горизонтальной поверхности α до 28-30°). С увеличением α загрузка прямыми подачами не дает возможности быстрой догрузки рудными материалами периферийной зоны. Загрузка подачами коксом вперед КААК↓ способствует снижению рудной нагрузки на кокс (РН) на периферии, не увеличивая её в центральной зоне колошника.

Анализ качественного изменения РН по радиусу колошника при загрузке шихты циклами подач ААКК↓-n, КААК↓-m проводился на основе упрощенной математической модели расположения слоев компонентов шихты на пологой поверхности засыпи перед загрузкой очередной подачи без учета перетока материалов к оси доменной печи (ОДП), в том числе при образовании коксом загруженной подачи псевдоожиженного слоя в центральной зоне [1, 2]. Сразу после загрузки в доменную печь шихтовые материалы в течение небольшого периода времени растекаются по колошнику и образуют поверхность засыпи с α = 5-12°.

Для определения качественного изменения радиальных РН рассматривалось расположение рудных и коксовых слоев при загрузке материалов с уровнем засыпи, соответствующим их укладке непосредственно к стенам колошника, на пологую поверхность засыпи. Моделирование проводилось для цикла подач с общей РН = 4,6 кг / кг. Принятые условия моделирования предполагали создание максимальной РН у стен печи в процессе загрузки прямой подачи, в т.ч. за счёт того, что не учитывалось перераспределение шихты по радиусу и переток рудных материалов в центральный столб кокса. Таким образом, усиливались качественные

отличия характера радиального распределения рудных нагрузок (РРРН) на кокс для циклов загрузки с различным соотношением прямых подач и подач коксом вперёд.

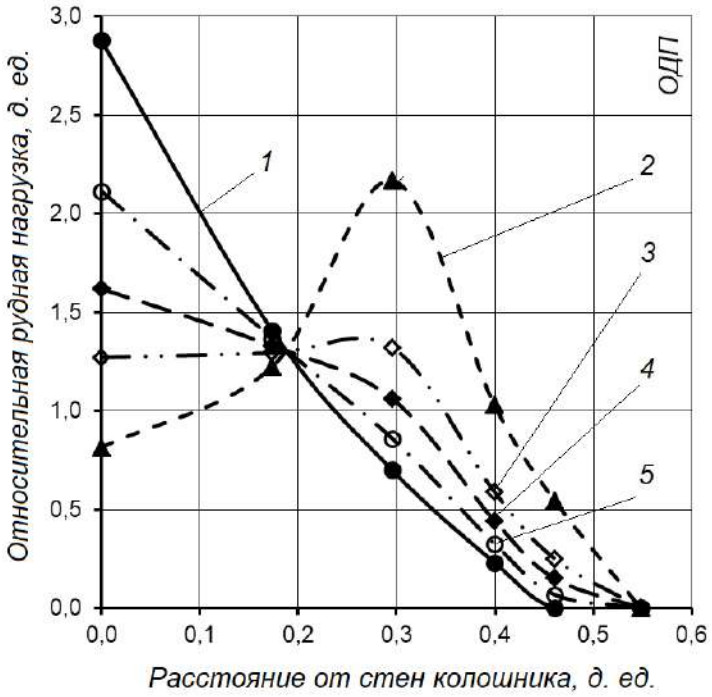


Рис. 1– Результаты моделирования изменения РРРН при загрузке циклами ААКК↓-n, КААК↓-m при: *1* – m = 0; *2* – n = 0; *3* – n = 2, m = 3; *4* – n = 3, m = 2; *5* – n = 4, m = 1

Как видно из рис. 1, прямая подача (линия 1) подгружает периферийную зону, относительная РН у стен печи 2,88 д. ед., и разгружает зону, расположенную у ОДП. Площадь осевой отдушины в отсутствие перетока рудных материалов в центральную зону составляет около 29 % площади колошника. Подача коксом вперед (линия 2) разгружает периферийную зону (РН = 0,81 д. ед.), смещая максимальную РН в промежуточную зону (РН = 2,17 д. ед.) и несколько подгружая рудными материалами центральную зону печи. При этом площадь осевой отдушины сокращается до 20 % площади колошника. Для действующих доменных печей после перераспределения материалов по радиусу печи считается рациональной площадь осевой отдушины около 4-6 % площади колошника.

Список литературы

1. Исследование массопереноса при потере стабильности граничащих зернистых слоев / В. П. Тарасов [и др.] // Сталь. – 1991. – № 9. – С. 11-14.

2. *Федулов, Ю. В.* Механика формирования слоя материалов на колошнике доменной печи / Ю. В. Федулов // Сталь. – 1991. – № 3. – С. 9-14.

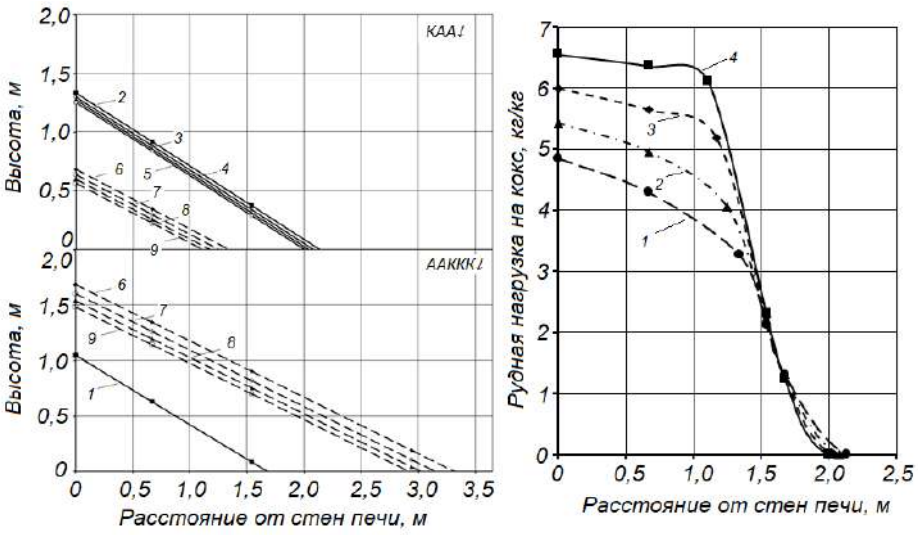
УДК 669.162.261.3

В. Б. Семакова, И. И. Харченко, В. В. Семаков

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ ЗАГРУЗКИ С ВЫСОКИМИ СЛОЯМИ КОКСА

Снижение расхода кокса на выплавку 1 т чугуна в результате совершенствования доменного процесса приводит к уменьшению высоты слоев кокса в столбе шихтовых материалов, что ухудшает газодинамические условия работы доменной печи (ДП). Сформировать высокие слои кокса позволяют циклы подач, предусматривающие последовательную загрузку в доменные печи четырех скипов кокса [1]: АААА↓КККК↓, ААА↓АККК↓ и ААККК↓ КАА↓, которые обеспечивают перераспределение материалов по радиусу колошника.



а) б)

Рис. – Радиальное распределение для цикла подач ААККК↓ КАА↓: *а* – высот слоев агломерата (1-5) и кокса (6-9) при РН в подаче: *2, 6* – 3,5 кг / кг; *3, 7* – 4,0 кг / кг; *4, 8* – 4,5 кг / кг; *5, 9* – 5,0 кг / кг; *б* – рудных нагрузок при РН в подаче: *1* – 3,5 кг / кг; *2* – 4,0 кг / кг; *3* – 4,5 кг / кг; *4* – 5,0 кг / кг

При помощи математического моделирования систем загрузки доменной печи полезным объемом 2000 м^3 при пологой поверхности засыпи и расположении гребня материалов у стен колошника без учета перетока шихты к оси печи было установлено [2], что цикл загрузки АААА↓КККК↓ относительно равномерно подгружает периферийную и промежуточную зоны, разгружая осевую зону при рудной нагрузке на кокс в подаче (РН) до 4,5 кг / кг. РН у стен колошника составляет 3,9-4,8 кг / кг.

Цикл загрузки ААА↓АКККК способствует повышению РН в периферийной зоне более 8,0 кг / кг и формированию осевой отдушины большего диаметра.

Промежуточное распределение слоев агломерата и кокса формируется при загрузке шихты циклом ААККК↓ КАА↓. При повышении рудной нагрузки на кокс в подаче с 3,5 до 5,0 кг / кг РН у стен колошника увеличивается с 4,9 кг / кг до 6,6 кг / кг. При относительно низкой РН = 3,5 кг / кг в подаче рудная нагрузка на кокс по радиусу колошника плавно снижается от периферии (РН = 4,9 кг / кг) к промежуточной зоне (РН = 4,3 кг / кг) и далее – к центру печи, при относительно высокой РН = 5,0 кг / кг – у стен колошника на протяжении 1 м РН остается практически неизменной 6,4 кг / кг. Также установлено, что с увеличением РН протяженность рудных материалов по радиусу колошника уменьшается с 2,1 м при РН = 3,5 кг / кг до 2,0 м при РН = 5,0 кг / кг в подаче, что увеличивает площадь осевой отдушины и способствует развитию осевого газового потока.

Список литературы

1. *Семаков, В. В.* Исследование влияния порядка загрузки шихтовых материалов при формировании их высоких слоев на распределение рудных нагрузок по радиусу колошника доменной печи / В. В. Семаков // Проблеми енергозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, фахівців, аспірантів, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, 11-12 травня, 2016 р. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2016. – С. 82-84.

2. *Семакова, В. Б.* Моделирование рудных нагрузок по радиусу доменной печи при загрузке циклов с раздельными рудными подачами / В. Б. Семакова [и др.] // Литво. Металургія. 2018 : Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції (22-24 травня 2018 р., м. Запоріжжя) – 2018. – С. 295-297.

УДК 669.76:669

В. О. Синельников[1], М. Шуцки[1], Д. Калиш[1], Р. Д. Куземко[2]

[1]AGH «Научно-технический университет», г. Краков, Польша

[2]ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ШЛАКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КОЛИЧЕСТВА СВЕРХЗВУКОВЫХ СОПЕЛ

Один из способов продления кампании кислородных конвертеров – увеличение стойкости огнеупорной футеровки, что достигается путем использования промышленного отхода – шлака, который остается в конвертере после продувки и слива стали. Недостаточная эффективность использования технологии разбрызгивания остаточного шлака связана в большей мере с тем, что проведение полноценного эксперимента в зоне высоких температур кислородного конвертера невозможно. Поэтому без моделирования различных вариантов этого процесса с учетом различных факторов и физических воздействий ускорить внедрение сложного технологического процесса затруднительно [1].

Исходные данные, использованные при моделировании: диаметр фурмы 0,2-0,25 *м*; угол наклона сверхзвуковых сопел 14°; количество расширяющихся сопел 1-5; продувочный газ – азот (N_2); вязкость азота $6 \cdot 10^{-5}$ *Па·с*; плотность шлака 3000 *кг/м*^{3}; интервал моделирования – 0,05 *с*, высота слоя шлака – 1 м.

В настоящей работе были исследованы различные варианты по влиянию количества сверхзвуковых сопел, расположенных в средине соплового блока и по периферии, на разбрызгивание шлака.

Заметим, что при проведении различного вида исследований – промышленный эксперимент или математическое моделирование процесса – довольно проблематично учесть динамическую вязкость η конвертерного шлака. В литературе информации об этом параметре (η) весьма мало. Исследований, позволяющих определить его точное значение, авторами этой работы не найдено, а вся информация по вязкости шлака металлургических комбинатов Европы являются сугубо коммерческим продуктом. Именно по этой причине в настоящей работе использованы результат значений динамической вязкости, которые авторы получили эмпирически [1].

Результаты моделирования. Авторы данной работы наиболее успешными считают результаты моделирования с использованием 4-х и 5-и сверхзвуковых сопел. На рис. 1,а представлен конвертер перед подачей азота через фурму (*t* = 0*c*).

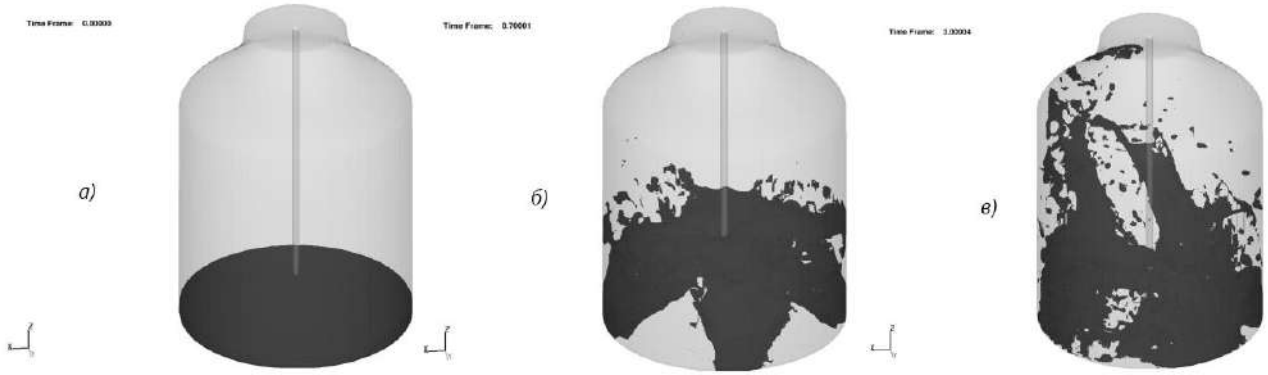


Рис. 1 – Результаты моделирования разбрызгивания шлака в программе FLOW-3D с четырехсопловым наконечником фурмы: а – 0 сек., б – 0,7 сек., в – 3 сек.

Рис. 2 – Результаты моделирования разбрызгивания шлака в программе FLOW-3D с пятисопловым наконечником фурмы: а – 0 сек., б – 0,5 сек., в – 3 сек.

Заметим, что в отличие от вариантов с 1-3 соплами, импульса струй, истекающих из четырехсопловой фурмы, достаточно для того, чтобы поднять всю массу разбрызгиваемого шлака уже через 0,7 секунды. Существенно отличаются результаты моделирования при использовании фурмы с пятисопловым наконечником. Из рис. 2,б видно, что отрыв шлакового расплава от дна конвертера происходит уже через 0,5 секунды, что еще раз подтверждает факт увеличения импульса струй, втекающих в расплав. Дальнейший ход процесса моделирования важен исключительно с точки зрения наблюдения полета капель шлака и их прилипания к футеровке, тогда как в настоящей работе стенки конвертера были заданны, как абсолютно гладкие.

Список литературы

1. Sinelnikov V.O. Influence the FeO content on slag viscosity at his spraying. Increase the life of the refractory lining / V.O. Sinelnikov, D. Kalisz // Glass and Ceramics. – 2016. – Vol. 73, № 3 – 4. – P. 144-148.

УДК 669.162

Є. М. Сігарьов, О. В. Довженко, В. П. Полєтаєв

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ЗАТЯГУВАННЯ ПОКРИВНОГО ШЛАКУ ДО КІВШОВОЇ ВАННИ

Вміст заліза у шлаках, які скачують після обробки на УДЧ, коливається у діапазоні 60-78%. Встановлено, що у незалежності від міста відбору проб за висотою шару покривного шлаку, в останніх знаходиться не менш ніж 25% корольків чавуну різних фракцій. Кінцевий вміст корольків у шлаку залежить від технологічного варіанту десульфурації та ряду перемінних параметрів процесу, у тому числі: потужності перемішування та ступеня турбулентності ванни; товщини покривного шару, фізико-хімічного стану, в'язкості останнього та глибини затягування шлаку з границі «шлак-метал» до металевої ванни.

Потрапляння крапель чавуну до шлаку, за одним з можливих механізмів, забезпечується за рахунок їх захоплення шлаком, що затягується циркуляційними потоками до верхніх шарів металевої ванни. Винесені до шлаку краплі чавуну коалесцують та, за умови досягнення критичного розміру (3-5 мм), коли дія сили тяжіння стає більше ніж сила поверхневого натягнення, осідають у нижні шари шлакової ванни до границі з металом, а за умов достатньої витримки ванни – повертаються до металевої ванни.

З метою дослідження особливостей затягування покривного шлаку до об'єму металу з міжфазової границі, проведена серія ізотермічних експериментів на моделі великовантажного заливального ковшу. Для визначення впливу основних параметрів процесу глибинного вдування газу на масообмінні процеси та глибину затягування покривного шлаку до металевої ванни застосовано методику планування експерименту.

Реалізований повний факторний експеримент. До факторів впливу відносили: швидкість обертання заглибної фурми (X_1 (n), об/хв.), висоту шару покривного «шлаку» (X_2 (δ), мм), витрату газу-носію (X_3 (Q), л/хв.).

Встановлений неоднозначний характер впливу як конструкції наконечника фурми, питомих витрат газу, що вдувають крізь сопла наконечника, так і товщини покривного шлаку на глибину затягування останнього до ванни. За результатами обробки отриманих даних запропоновані математичні моделі, які придатні для визначення впливу досліджених факторів на глибину затягування «шлаку» до ванни ($Z_{шл,}$ мм).

До прикладу, для умов використання двосоплового наконечника заглибної фурми відповідні математичні моделі представлені виразами:

— для діапазону швидкості обертання заглибної фурми 0…90 об/хв.

$$Z_{шл} = 0{,}6328 - 0{,}0068 \cdot n + 0{,}0257 \cdot \delta + 0{,}1673 \cdot Q + 0{,}0077 \cdot n \cdot \delta + \\ + 0{,}9702 \cdot \delta \cdot Q - 0{,}0068 \cdot n \cdot \delta \cdot Q ; \quad (1)$$

— для діапазону швидкості обертання заглибної фурми 120…240 об/хв.

$$Z_{шл} = 0{,}6265 - 0{,}0091 \cdot n + 0{,}0309 \cdot \delta + 0{,}1763 \cdot Q + 0{,}004 \cdot n \cdot \delta + 0{,}0049 \cdot n \cdot Q + \\ + 0{,}9645 \cdot \delta \cdot Q - 0{,}0048 \cdot n \cdot \delta \cdot Q . \quad (2)$$

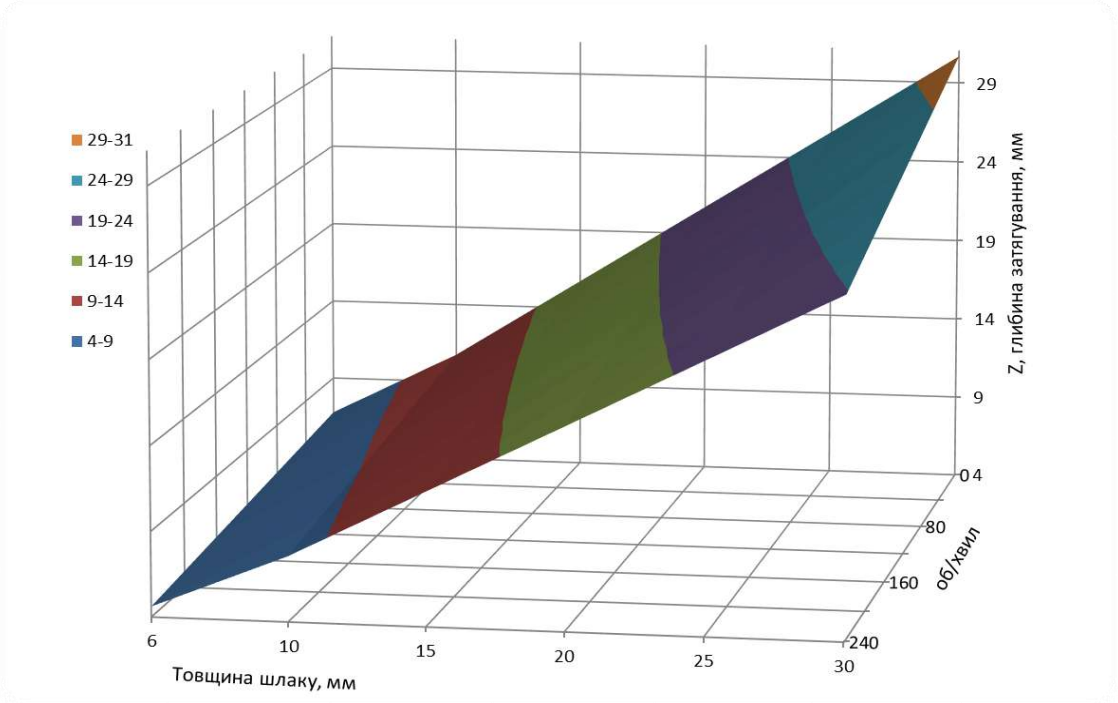


Рисунок – Поверхня відгуку швидкості обертання заглибної фурми (у діапазоні 120…240 об/хв.) та товщини шару шлакового покриву на глибину затягування шлаку до ванни. Витрата газу на продувку – 1,0 л/хв.

Згідно з результатами проведених чисельних експериментів з використанням отриманих моделей до найбільш визначальних факторів впливу на глибину затягування шлаку потоками до ванни можна віднести:

- при швидкості обертання заглибної фурми до 90 об/хв. – швидкість обертання фурми та товщину шару покривного шлаку;
- від 90 до 120 об/хв. – товщину шару покривного шлаку;
- від 120 до 240 об/хв. – швидкість обертання фурми (рис.).

УДК 669.162

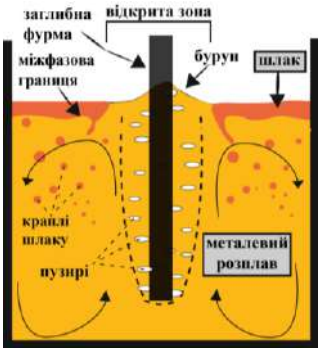
Є. М. Сігарьов, Д. С. Кочмола, А. А. Похвалітий

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

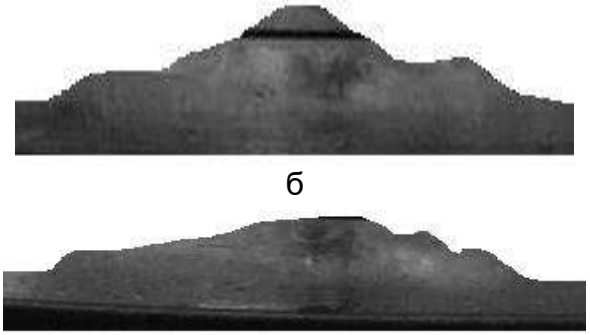
ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ БУРУНА НА ПОВЕРХНІ КІВШОВОЇ ВАННИ

На основі досвіду випробування коінжекційної технології ковшової десульфурації в умовах конвертерного цеху ПАТ «ДМК» визначені умови раціонального дуттьового режиму для вдування реагентів углиб ванни, відхилення від яких сприяє викиданню шлакометалевої маси, утворенню «пробивного» режиму, призводить до збільшення амплітуди коливань ванни та висоти буруна на її поверхні.

Для уточнення ступеня впливу різних факторів на формування та геометричні параметри (висоту (X_1)) буруна на поверхні ванни провели серію ізотермічних експериментів з використанням моделі ківша з плексигласу у масштабі 1:12 по відношенню до 230-т промислового агрегату. У якості модельної рідини для металевого розплаву використовували воду (20^0C), газу-носію – компресорне повітря, а для моделювання шару покривного шлаку (товщиною (X_2) 6…30 мм) – синтетичне моторне масло. Використовували одно- та двосоплові наконечники заглибних фурм з циліндровими соплами діаметром 0,0013 та 0,001 мм відповідно. Швидкість обертання заглибної фурми (X_3) навколо вертикальної вісі змінювали в межах від 0 до 240 об/хв.



а



б

в

Рис. 1 - Схема формування (а) та профіль буруна (б, в) на поверхні модельної ковшової ванни при швидкості обертання 2-х соплової фурми у 120 об/хв. (б) та 240 об/хв. (в) з витратою газу 2,2 л/хв. та 1,0 л/хв. відповідно

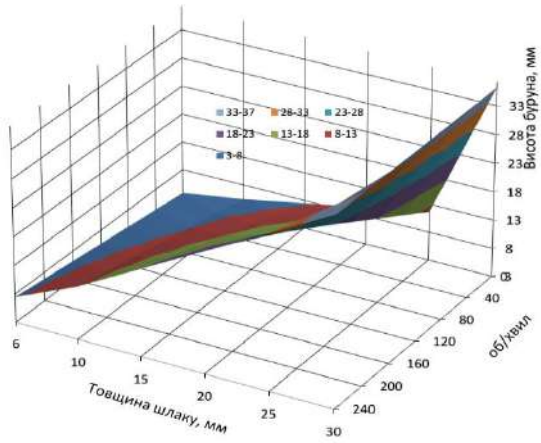
Отримані математичні моделі для визначення залежності висоти буруна на поверхні ванни від факторів впливу. Так, до прикладу, для односоплової фурми у діапазоні швидкості її обертання від 120 до 240 об/хвил.:

$$H_1 = 1.3888 - 0.00044 \cdot X_1 - 0.1178 \cdot X_2 - 0.0628 \cdot X_3 + 0.00001 \cdot X_1 \cdot X_2 +$$
$$+0.00158 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.2425 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0.00148 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

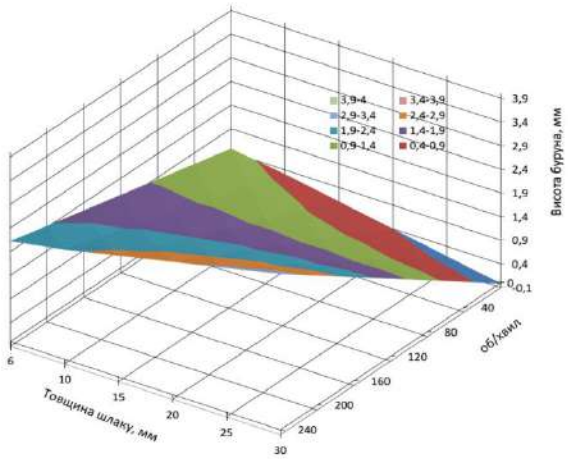
Для 2-х соплової фурми:

$$H_2 = 0.858 + 0.0041 \cdot X_1 - 0.0413 \cdot X_2 + 0.167 \cdot X_3 - 0.001 \cdot X_1 \cdot X_2 -$$
$$-0.00072 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.000625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Результати чисельного моделювання із використанням отриманих математичних моделей наведені на рис. 2.



а



б

Рис. 2 – Висота буруна на поверхні ванни при використанні 1-но (а) та 2-х соплової (б) фурми, яка обертається зі швидкістю 120…240 об/хв., при витратах газу 2,2л/хв.

На підставі аналізу результатів моделювання можна зробити висновки, що для забезпечення належних умов ковшової десульфурації чавуну, зменшення питомих витрат магнію та підвищення ступеня використання останнього на сірку доцільним є:

- розосередження реакційних зон вдування реагентів у ванну, у тому числі за рахунок збільшення кількості сопел у наконечнику фурми та застосування прийому обертання фурми навколо вертикальної вісі;

- підтримання максимально можливого, у данних умовах витрат реагентів, рівня покривного шлаку та його рідкорухомості;

- зменшення питомих витрат газу-носію до мінімально можливого рівня, який здатний забезпечити ліквідацію «зворотніх» ударів, попередити запечатування сопел фурми та забезпечити транспортування реагентів до реакційних зон.

УДК 669.162

Є. М. Сігарьов, Д. С. Кочмола

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ФУТЕРУВАННЯ ЗАГЛИБНИХ ФУРМ

В умовах різких теплових ударів і хімічної дії шлаку заглибні фурми для ківшової десульфурації зазнають механічних навантажень, викликаних бурхливим перебігом процесу. На термін служби впливають не тільки властивості вогнетривких матеріалів, але й спосіб введення реагентів, конструкція металевого каркасу, спосіб закріплення футерування тощо. Для підвищення терміну служби фурм увагу необхідно приділяти як зниженню схильності футерівки до розтріскування, так і в дещо меншому ступеню, корозійній стійкості. Утворенню тріщин сприяє наявність у трубі, що несе газопорошкову суміш реагентів, підсилюючих елементів. Різна товщина шарів вогнетриву в місцях посилення і поза ними сприяє розтріскуванню. Окрім того, футерування руйнується під впливом розширюючих напружень, що виникають в металевому каркасі фурми внаслідок впливу високих температур.

Застосування коксо-карборундових, коксо-шамотних мас, просочення вогнетривкої маси кам'яновугільним пеком, використання високоглиноземної (96% Al_2O_3) та алокситової (55% Al_2O_3) футерівки, плавленого глинозему, додавання

сталевих армуючих волокон, на жаль, не призвело до повного вирішення проблеми розтріскування та корозійностійкості.

Важливою умовою підвищення терміну експлуатації фурм є також раціональний режим їх охолодження після вилучення з розплаву та тривалість простоїв між обробками останнього. У Японії фурми не піддаються різкому охолодженню, їх поміщають в башту попереднього нагріву і витримують при 600-800°С до наступної обробки. Розроблені також різні способи захисту фурм від надмірного перегрівання шляхом відведення тепла від її зовнішньої поверхні, за рахунок безперервного подавання газу-носію. Це запобігає виникненню термічної напруги. Перспективним виглядає і використання фурм з двошаровою футеровкою та застосування одночасно двох фурм.

Проблеми стійкості футерування заглибної фурми повязані, не в останню чергу, із невідповідністю хімічного складу вогнетривів та шлаку, що формується по ходу обробки. Так, до прикладу, в умовах ПАТ «ДМК» робота футерування заглибної фурми при коливаннях хімічного складу шлаку, який залишається на поверхні переробного чавуну у ковші перед десульфурацією (% CaO 21,0-44,7; SiO_2 38,3-43,5; MgO 4,3-5,1; Al_2O_3 6,5-6,85; MnO 0,42-0,78; FeO 0,51-0,57) та формується по ходу обробки (% CaO 50,2; SiO_2 37,3; MgO 6,9; Al_2O_3 7,2; MnO 1,2; FeO 4,5), тривалі перерви між обробками, призводять до скорочення терміну її експлуатації у 1,3-1,5 рази у порівнянні з гарантованою виробником стійкістю.

Для уточнення температурних умов роботи фурми із різною товщиною шару футерівки з використанням виразу (1), при граничних умовах III роду,

$$V = \frac{T - T_ч}{T_{\omega_0} - T_ч} = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \cdot \cos\left(\beta_i \frac{x}{\delta}\right) \cdot \exp\left(-\beta_i^2 Fo\right) \qquad (1)$$

де β_i та A_i – коефіцієнти як функція критерію $Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda}$, α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м^2 град; λ – теплопровідності, Вт/м град; $Fo = \frac{a \cdot \tau}{\delta^2}$ – критерий Фурьє; *а* – температуропровідності, м^2/с за час τ, сек, визначили динаміку нагрівання внутрішнього шару футерування по ходу обробки розплаву (див. рис.).

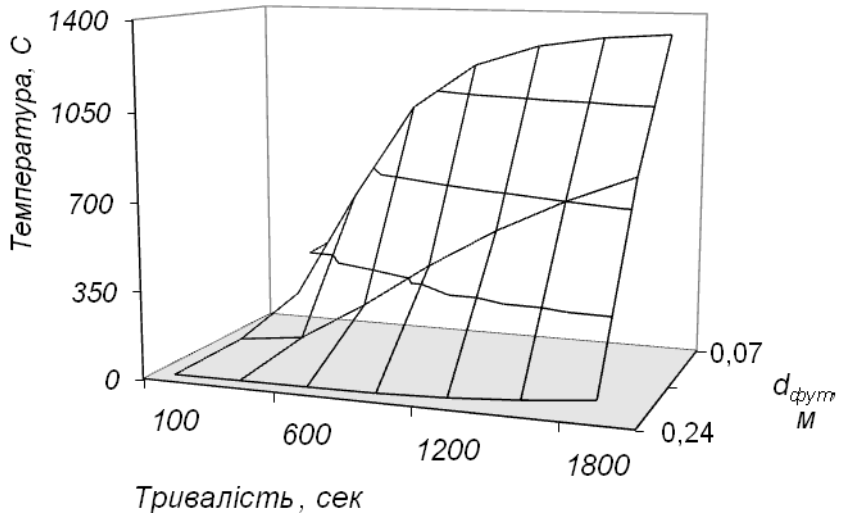


Рисунок – Розрахункова динаміка нагрівання шару на границі з металевою трубою заглибної фурми (для високоглиноземної футеровки)

До напрямків підвищення стійкості футерування фурм можна віднести: наближення складу вогнетривкого шару до складу шлаку, коригування властивостей шлаку, зміну геометрії футерування по висоті стовбура, використання газового (примусового) її охолодження.

УДК 669.184.125

Є. М. Сігарьов, М. М. Недбайло, А. В. Артамонова

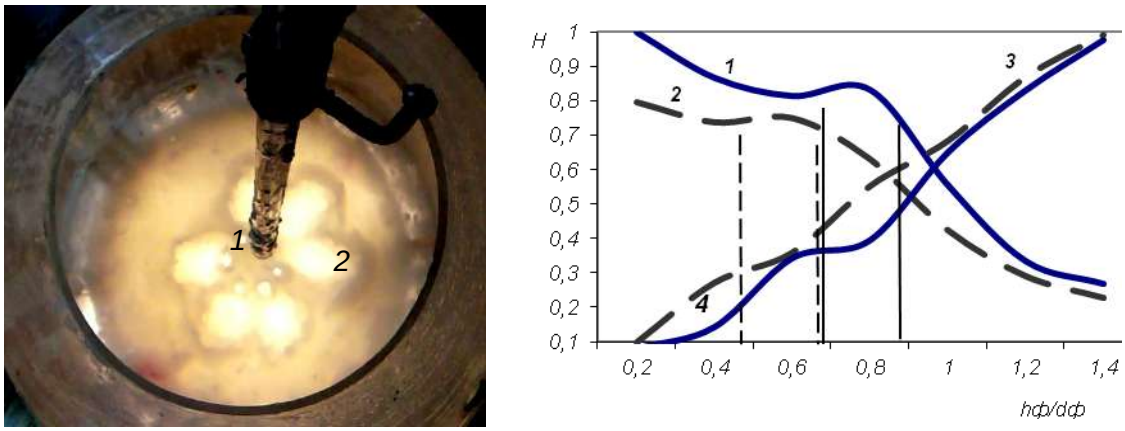
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ВПЛИВ ДОННИХ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ НА УМОВИ РОЗДУВАННЯ ШЛАКОВОЇ ВАННИ У КОНВЕРТЕРІ

Роздування кінцевого шлаку на стіни конвертера з комбінованим продуванням, з метою формування захисного гарнісажного покриття, призводить до ускладнення умов служби та «запечатування» донних дуттьових пристроїв шлаком.

Для визначення характеру впливу взаємного розташування наконечника верхньої фурми ($h_ф$) та донних пристроїв, при зміні його положення по ходу роздування шлакової ванни, проведені дослідження з використанням методів ізотермічного моделювання. 6-ть донних сопел (отворів $d_д$ = 0,7 мм) у моделі конвертера були рівномірно розташовані за колом. Витрата газу на одне сопло 6-ти

соплового наконечника верхньої фурми складала 0,037…0,049 м^3/хв. при загальній інтенсивності дуття 0,23…0,29 м^3/хв. Витрату газу крізь донні отвори на моделі підтримували у межах 0,004…0,006 м^3/хв. на один отвір (рис. а).



а *б*

Рисунок – Комбіноване роздування шлакової ванни (а) та вплив взаємного розташування наконечника фурми та донних отворів на висоту нанесення шлакових крапель на стіни конвертера (1, 2) та стовбур фурми (3, 4) (б): розташування наконечника фурми - 15 калібрів; а) 1 – зона виходу газу з донної фурми; 2 – реакційні зони взаємодії верхніх струменів із шлаковою ванною; б) 1, 4 - витрата газу на одне сопло наконечника фурми 0,037 м^3/хв., 2, 3 – 0,047 м^3/хв. відповідно

Встановлений превалюючий вплив місця розташування донних отворів відносно зон взаємодії верхніх струменів з шлаковою ванною на співвідношення обсягів виносу крапель шлаку з ванни у напрямках стін конвертера та стовбура фурми.

У випадку розташування наконечника на висоті 40 калібрів забезпечується практично повне пригнічення винесення крапель на стовбур фурми, але не утворюється належне (щільне та рівномірне за товщиною) покриття шаром шлаку верхньої конусної частини конвертера. Зменшення висоти наконечника до 25 калібрів призводить до зменшення діаметру кратерів реакційних зон за більшою віссю, при цьому забезпечується розширення сектору винесення більшої частини дрібних крапель шлаку на верхні частини стовбура фурми і циліндричної області конвертера.

У визначеному діапазоні відношення $h_ф/d_ф$ (зони на рис. б, які обмежені вертикальними лініями), встановлений факт зменшення ступеня «зашлаковування» стовбура фурми з одночасним збільшенням обсягу шлакових крапель, які спрямовані безпосередньо на стіни конвертера.

Встановлено, що раціональний варіант комбінованого роздування досягається у режимі з «пробоєм» шлакової ванни струменями газу, що витікають з сопел фурми при висоті наконечника у 23…27 калібрів при максимальній, у дослідженому діапазоні, інтенсивності продувки. Рекомендоване для роздування шлаку співвідношення $h_ф/d_ф$ відповідає значенням 0,55…0,80.

Встановлено, що потік газу з донних отворів сприяє формуванню кратерів збільшеного діаметру, з відповідним підвищенням висоти шлакового гребеню та викиданням збільшених обсягів крапель шлаку у напрямку стін конвертера.

За результатами досліджень запропоновано вдування магнезіальних порошкоподібних матеріалів крізь донні отвори в потоці нейтральних або слабоокислювальних газових струменів у об'єм шлакової ванни по ходу операції роздування останньої на поверхню футерівки конвертера при визначеному діапазоні висоти наконечника фурми над ванною. Такий прийом дозволить опертивно коригувати фізико-хімічний стан шлакової ванни, підвищити ефективність використання модифікаторів шлаку для створення високостійкого гарнісажного покриття у конвертері з комбінованим продуванням ванни, зменшити вірогідність запечатування донних отворів шлаком.

УДК 669.162

Є. М. Сігарьов, Є. В. Ліхачов, П. А. Якунін

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ПЕРЕМІШУВАННЯ ТА ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ У КІВШОВІЙ ВАННІ

Аналіз результатів експериментів авторів з дослідження гідрогазодинаміки розплаву при використанні стаціонарної та обертової заглибних фурм для вдування газів та порошкоподібних матеріалів у ківшову ванну показав, що найкращі умови диспергування та розосередження по об'єму газових пузирів забезпечуються при швидкості обертання до 2,17 сек$^{-1}$ та питомих витратах газу до 0,018 м^3/хв. Об'єм зон, вільних від порошку («мертвих» зон), при використанні обертової фурми становить 10-15% від об'єму ванни (для стаціонарної - 40-55%).

Як встановлено авторами, з підвищенням числа обертів заглибної фурми газонасиченість ванни зменшується, що може бути пов'язано з перехідом до

канального режиму продувки, та обмеженням розмірів барботажної зони. Це впливає як на потужність перемішування, так і на всі процеси, які супроводжують продування ванни. Ігнорування впливу розмірів газових пузирів, які спливають до поверхні ванни, на потужність перемішування ківшової ванни у більшості відомих виразів для її визначення, може призвести до похибок. У такому випадку не враховуються умови подрібнення та ізотермічного розширення пузирів газу, зміна загальної реакційної поверхні пузирів за різних умов їх утворення та форм.

Подрібнення газових пузирів у ванні відбувається як в ламінарному, так і в турбулентному потоці за рахунок взаємодії між суцільною та дисперсною фазами. В'язка напруга в першому випадку або інерційні сили у другому прагнуть деформувати і зруйнувати газовий пузир. Капілярні сили поверхневого натягнення повністю або частково компенсують ці дії на пузир газу з боку рідини. Таким чином, подрібнення газових об'ємів у турбулентному потоці відбувається або не відбувається у залежності від співвідношення між інерційними і поверхневими силами. Переміщення у термодинамічно горизонтальній площині занурених до ванни газопорошкових струменів, при використанні обертової фурми, вносить свій внесок у зміну співвідношення між інерційними та силами поверхневого натягнення.

У свою чергу, потужність перемішування чинить суттєвий вплив на глибину затягування шлаку з границі «поверхневий шлак - метал» до металевої ванни, розміри «ока», параметри буруна, що може вплинути на кінцеві показники рафінування розплаву та питомі витрати реагентів.

У чинному дослідженні запропоновано методику визначення потужності перемішування розплаву у ковші та дисипації енергії газопорошкових струменів з врахуванням зміни розмірів, кількості, швидкості спливання пузирів. З врахуванням кількості пузирів $n = 6Q \cdot \tau / \pi \cdot D^3$, що утворюються по ходу вдування газу (Q) у ванну глибиною *H*, вираз для визначення роботи спливаючих пузирів матиме вигляд:

$$A_n = \frac{6 \cdot Q \cdot D^2 \cdot \rho_p \cdot \tau}{2 \cdot D^3} \left(g \cdot D / 3 - C / 4 \cdot V_{cp}^2 \right) \cdot H . \quad (1)$$

Питому потужність, що передається ванні при заглибленому вдуванні газу, можна визначити за виразом, Вт/т:

$$N_{num} = \frac{3 \cdot Q \cdot \rho_p}{D \cdot G} \left(g \cdot D / 3 - C / 4 \cdot V_{cp}^2 \right) \cdot H . \quad (2)$$

ρ_p, ρ_r – щільність рідини і газу відповідно, кг/м^3; C – коефіцієнт опору (0,5-0,8); S – міделевий перетин пузиря, м^2.

За умови вдування порошкоподібних часток реагентів у потоці газу-носію, який не асимілюється ванною, необхідно врахувати також збільшення розмірів пузирів газу *D* при нагріванні у металевому розплаві:

$$N_{num} = \frac{6{,}18 \cdot Q \cdot \rho_{p \cdot H}}{D \cdot G}\left(g \cdot D - \frac{3 \cdot C \cdot V_{cp}^2}{4}\right) + ln\left(1 + \frac{\rho_p \cdot g \cdot H}{10^5}\right). \quad (3)$$

Наведені вирази придатні для умов використання стаціонарних заглибних фурм. Частина енергії передається ванні від кінетичної енергії струменя та залежить від довжини останнього до моменту його руйнування та перетворення у газові пузирі. Для фурми, що обертається, цей фактор набуває особливого значення.

Якщо у першому наближенні вважати струмінь середовищем, що не стискається (у межах збереження ядра газопорошкового струменя), та використавши вираз, запропонований Ван-де-Вуссом $N = K \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \rho_м$, де K – коефіцієнт (0,5-0,8); n – швидкість обертання, об/с; d – діаметр кола, що умовно описують торці струменів у ванні, м, можливо визначити кількість дисипованої енергії при переміщенні струменів у рідкій ванні за умови використання обертової заглибної фурми.

УДК 669.162

Є. М. Сігарьов, О. В. Довженко, В. П. Полєтаєв

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське

ВТРАТИ ЗАЛІЗА ЗІ ШЛАКАМИ КІВШОВОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ

Підвищення вмісту корольків чавуну у шлаку у процесі ківшової десульфурації та утримання їх в об’ємі шлаку, маса якого по ходу рафінування, за різними оцінками подвоюється, призводить до втрат чавуну під час обов’язкового видалення шлаку після операції. Значимість проблеми підвищується з переходом від використання магнію без добавок (моноінжекція) до сумішей на основі вапна або карбіду кальцію з магнієм (коінжекція).

Шлак, який утворюється під час десульфурації чавуну вдуванням суміші магнію та вапна, складається із невикористаного вапна, графіту, корольків чавуну та міксерного шлаку. Втрати чавуну із додатково утвореним шлаком сягають, кг/т чавуну: при вдуванні гранульованого/диспергованого магнію - 0,23…0,652; при вдуванні суміші магнію та вапна - 1,868…2,614; при вдуванні суміші магнію та карбіду кальцію –1,53…1,64.

У якості добавок, що сприяють зменшенню вмісту корольків чавуну (за рахунок зменшення в'язкості шлаку) застосовують: плавиковий шпат, кріоліт, відходи виробництва алюмінію, нефелін-сієнитовий концентрат та т. ін.

З метою оцінки ступеня впливу типу та складу реагентів, визначення доцільності вилучення корольків чавуну зі шлаку до або після його скачування з поверхні ківшової ванни після десульфурації, у чинному дослідженні використовували дані отримані при відпрацюванні коінжекційної технології в умовах конвертерного цеху ПАТ «ДМК» та доступні літературні дані.

Методика дослідження відібраної для аналізу шлако-металевої маси різних плавок (надалі – шлак), що утворилася по ходу операції вдування суміші на основі вапна та магнію, складалася з наступного. Відібрані проби шлаку подрібнювали з відділенням шлаку від металевої частини. Металева частина (корольки чавуну) з використанням комплекту сит розділялася на фракції <0,5; 0,5…1,0; 1,0…2,5; 2,5…5,0; 5,0…10,0 та >10 мм.

Після розподілу металевих крапель за фракціями з визначенням їх вагової кількості, останні досліджували на хімічний склад із використанням мікроаналізатору на вміст вуглецю, фосфору та сірки.

Встановлено, що вміст сірки в корольках чавуну при обробці сумішшю Mg+CaO, в цілому, підвищений у порівнянні з використанням магнію без добавок (див. рис.).

Маркери 1…4 на рисунку 1 відображають вміст сірки у корольках чавуну в умовах вдування суміші CaO з магнієм (ПАТ «ДМК»), маркери 5…11 – за літературними даними, у яких наведені результати ківшового рафінування переробного чавуну з інжекцією вглиб розплаву магнію без добавок.

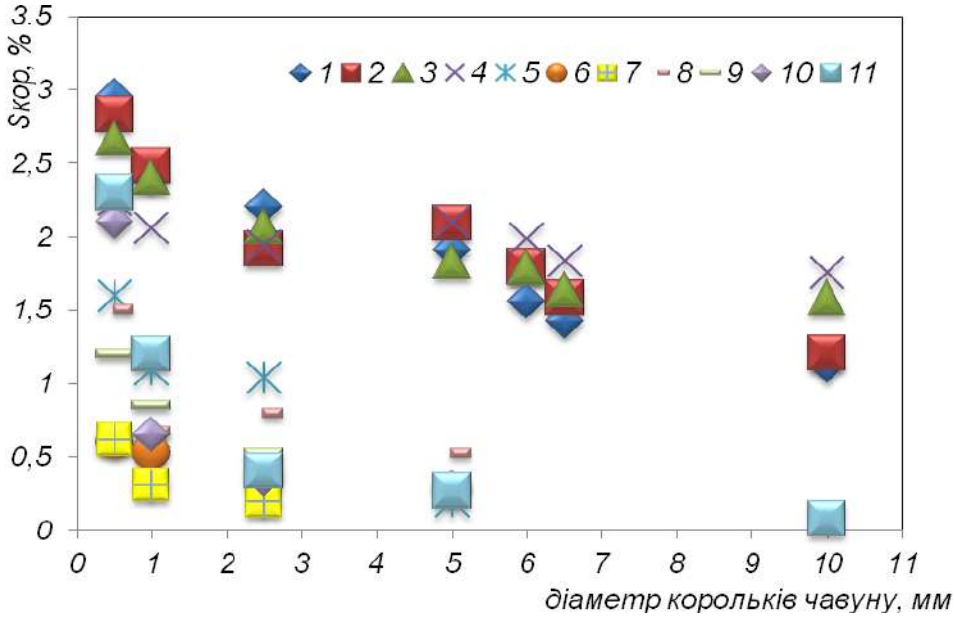


Рисунок – Залежність вмісту сірки від діаметру крапель чавуну у шлаку, що скачують після ківшової десульфурації

Залежність вмісту сірки $[S]_К$, % від діаметру корольків заліза ($d_К$), мм, що утворюються у шлаку під час рафінування переробного чавуну із використанням суміші реагентів на основі вапна та магнію, може бути представлена виразом

$$[S]_К = 0{,}013 \cdot d_К^2 - 0{,}299 \cdot d_К + 2{,}915\,, \quad R^2 = 0{,}96$$

Визначено, що співвідношення характерних груп за діаметрами корольків складає: 0,5…2,5 мм – 10…16%; 6…8 мм - 10…20%; >10мм – 30…45%.

Спадковість механізму десульфурації, шляхів потрапляння крапель чавуну та протікання масообмінних процесів у об'ємі останніх під час знаходження у рідкій шлаковій ванні, підтверджується трендом на зменшення вмісту сірки у корольках зі збільшенням діаметру останніх (див. рис.) у незалежності від типу реагентів.

УДК 669.184

Є. М. Сігарьов, О. А. Вовк

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ДО МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ЦІННОСТІ МЕТАЛОБРУХТУ

Зміна ситуації з забезпеченням металевим брухтом металургійних підприємств, що склалася на сьогодні в Україні та світі, свідчить не стільки про

зростання його дефіциту, скільки про дефіцит у його якісному сегменті. До ресурсозберігаючої сировини у складі металошихти для сталеплавильного переділу, на сьогодні, можна віднести брикети зі сталевої стружки.

До недоліків використання в сталеплавильному процесі брикетів з сталевої стружки з підвищеним вмістом нешкідливих домішок можна віднести: перевитрату вапна на плавку в зв'язку з необхідністю компенсації низької основності неметалевої частини брикетів; підвищений знос вогнетривів при взаємодії з переокисленим кислим шлаком першого періоду конвертерної плавки; можливість переохолодження металевої ванни при швидкому руйнуванні брикету; винесення дрібних фракцій, що відділяється від брикетів під час завалки та т. ін.

Згідно з ДСТУ 4121-2002 засміченість нешкідливими домішками (за масою) не повинна перевищувати 1,0% для брикетів виду №14 и 3,0% - для брикетів виду №15. Міцність визначають кількістю сталевої стружки, що осипається з брикетів до 3,0% від загальної маси. У свою чергу, остаточний вміст забруднюючих елементів (шкідливих домішок), у перш чергу таких як мідь, хром, нікель, олово, молібден, цинк, визначає можливість виконання вимог до хімічного складу готової сталі.

Слід зазначити, що методики визначення засміченості брикетів згідно ДСТУ 3211:2009, СТП 235-8-08-2016 (Єнакіївський МЗ) та інші дозволяють отримати досить наближені значення засміченості, так як не враховують окислення, вологості брикетів, особливості хімічного складу забруднень тощо. Без визначення хімічного складу, рівню вологості та міцності такого типу сировини, ступеня засміченості нешкідливими та шкідливими домішками, об’єктивна оцінка металургійної цінності брикетів ускладнюється.

З метою удосконалення методики визначення металургійної цінності брикетів авторами чинної роботи проведено серію високотемпературних експериментів із застосуванням індукційної тигельної печі, робочий простір якої, закритий спеціальною кришкою, був додатково захищений газоподібним аргоном. Досліджували засміченість трьох різних партій брикетів (відповідно №№ 1…3).

Після визначення, на першому етапі експериментів густини кожного зразка, з використанням методу гідростатичного зважування, визначали показник міцності (відсоток обсипання стружки). Густина брикетів №1 склала 5614,0 кг/м^3, №2 - 5423,0 кг/м^3 та №3 - 6011,0 кг/м^3 відповідно, показник обсипання - 0,458%, 0,619% та 0,124% від початкової маси брикетів №1, №2 та №3 відповідно. Незважаючи на суттєві

відмінності, за показниками густини та міцності усі досліджені зразки брикетів відповідають вимогам ДСТУ 2141-2002 до металобрухту виду №14.

На наступному етапі проводили переплавлення брикетів у захисному газовому середовищі, з фіксацією особливостей процесів видалення летких домішок, нагрівання, руйнування, оплавлення брикетів, динаміки утворення рідкої металевої ванни та шлаку на її поверхні. Протягом плавки та після її завершення відбирали проби шлаку та металу. Діапазон коливання температури початку руйнування та/або оплавлення брикетів склав від 1380 до 1470°С. Отримані результати були опрацьовані з використанням положень теорії металургійних процесів.

Запропоновано алгоритм розрахунку для визначення інтегрального показника забрудненості брикетів ($К_З$), який враховує сумарну кількість неметалевих включень ($НВ_б$), нешкідливих та шкідливих домішок, вихід шлаку та металу, втрати маси за рахунок видалення мастильно-охолоджуючих речовин, з врахуванням невід'ємних втрат при переплавленні. Результати розрахунку представлені у таблиці .

Таблиця – Результати розрахунку забрудненості зразків брикетів

Тип шихти	Маса шлаку, кг	Втрати маси навіски після переплаву у сталь, % від $М_{поч}$	$НВ_б$, %	$\Delta_б^*$, %	$К_З$, %
Сталь	1,10	0,652	0	0	0
Зразок №1	4,44	5,731	0,871	5,079	5,95
Зразок №2	3,42	6,137	1,841	5,485	7,33
Зразок №3	2,92	1,670	1,452	1,018	2,47

$^*\Delta_б$ – втрати маси брикету при переплавленні на сталь з урахуванням відповідних втрат еталонного зразку зі сталі з відомим висхідним хімічним складом

При відповідності вимогам ДСТУ 2141-2002 за показниками густини та міцності досліджених брикетів встановлений широкий діапазон коливань показників забрудненості (від 2,47 до 7,33%) та розрахункового виходу заліза з брикету (від 92,67 до 97,53%) в умовах сталеплавильного переділу.

УДК 669.15:669.15*24*26-194.

І. Р. Снігура, Д. М. Тогобицька

Інститут чорної металургії НАН України ім. З.І. Некрасова, м. Дніпро

ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ В СИСТЕМІ «МЕТАЛ-ШЛАК» НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ МІЖАТОМНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

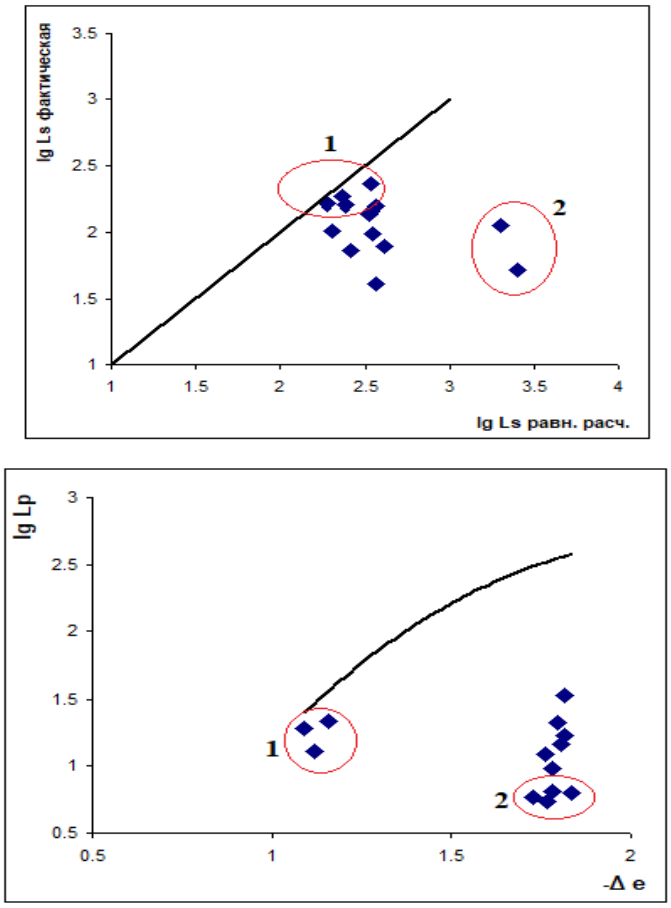
У сучасних умовах розвитку металургійної галузі помітно зниження якості виплавленої металопродукції, що пов’язано не тільки прямою залежністю з якістю вихідної сировини, що завантажується в різні металургійні агрегати, а й неповнотою протікання основних фізико-хімічних реакцій в системі «метал-шлак», що призводить до утворення неметалевих включень, порушення гомогенності розплаву, утворення мікротріщин та мікродефектів, недостатнього використання фосфорної та сірчаної ємності шлаків, зниження ефективності засвоєння легуючих, модифікуючих, рафінуючих добавок і як наслідок низьких показників механічних та експлуатаційних властивостей сталей.

Вагомий внесок у зниження собівартості металопродукції та підвищення її конкурентоспроможності, значне розширення експортних можливостей вітчизняних підприємств із забезпеченням зарубіжних стандартів екологічності виробництва вносить системний аналіз фізико-хімічних особливостей природи і структури матеріалів, технологічних аспектів металургійного виробництва, розробка сучасних методів впливу на повноту протікання реакцій та пошук раціональних складів добавок у сталеплавильному виробництві.

Особливу значущість для збільшення терміну експлуатації і надійності матеріалів зокрема в агресивних середовищах відіграють надчисті сталі з мінімально можливим вмістом шкідливих домішок, зокрема S та P.

Для спрямованого формування властивостей металевого розплаву і оцінки ступеня наближення до рівноважного розподілу елементів (S, P) між металом і шлаком використана методика «згортки» хімічного складу металургійного розплаву на основі концепції спрямованого хімічного зв'язку розробленої в ІЧМ НАНУ [1], розрахунок інтегральних параметрів для металу і шлаку здійснювався на основі спеціалізованих проблемно-орієнтованих комплексів «Метал» та «Шлак». Сутність концепції полягає в можливості інтерпретації зв'язку між хімічним складом розплаву і його властивостями за допомогою параметрів міжатомної взаємодії (Z^y – параметр

зарядового стану системи, е; Δе – середньостатистичне число електронів, локалізованих на сполучних орбіталях в напрямку зв'язку катіон-аніон (К-А); ρ – показник стехіометрії оксидної системи, рівний відношенню числа катіонів (к) до числа аніонів (А). В результаті аналізу експериментальних даних накопичених в базі даних «Метал-Шлак-Газ» банку даних «Металургія» рівноважних даних про розподіл S і P, розроблені моделі для розрахунку рівноважних коефіцієнтів їх розподілу в системі «метал-шлак»: {lg Ls, lg Lp} = *f* (Z^y, ρ, Δе).



а) б)

Рисунок – Порівняння фактичного і рівноважного розподілу сірки (а) і фосфору (б) в системі «метал-шлак» при виробництві сталей классу ШХ15

Порівняльний аналіз фактичних значень про розподіл S і P (рис.) між металом і шлаком з прогнозними рівноважними значеннями показав, що їх розподіл нижче рівноважного і рафінуючий потенціал шлаку недостатньо реалізований. При чому слід зазначити, що у шлаках області *1* вміст CaF_2 мас.% від 5.7 до 19.1, що створює відповідний розріджуючий ефект та активізує кінетику міжатомної взаємодії в розплавах.

З метою реалізації більш глибокої дефосфорації і десульфурації металу розроблена методика дозволяє здійснити науково-обґрунтований вибір відповідних шлакоутворюючих сумішей.

Список літератури

1. *Приходько Э. В.* Эффективность комплексного легирования сталей и сплавов. – К.: Наукова думка, 1995. – 292с.

УДК 669.18

О. М. Стоянов, К. Г. Нізяєв, К. Р. Володько, Є. В. Синегін

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОЗАПІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

Розробка прогресивних технологій, які забезпечують підвищення якості металопродукції, а також зниження матеріало- і енергоємності, є пріоритетним напрямком розвитку сталеплавильного виробництва в сучасних умовах. Рівень показників поліпшення службових властивостей металу, що виплавляється багато в чому залежить від технологічних прийомів, які виконуються на заключних етапах процесу отримання сталі, до яких відноситься позапічна обробка.

З метою визначення впливу технологічних факторів для отримання заданих показників позапічної обробки сталі виконане математичне моделювання технології десульфурації сталі на установці «ківш-піч» (рис.1,2).

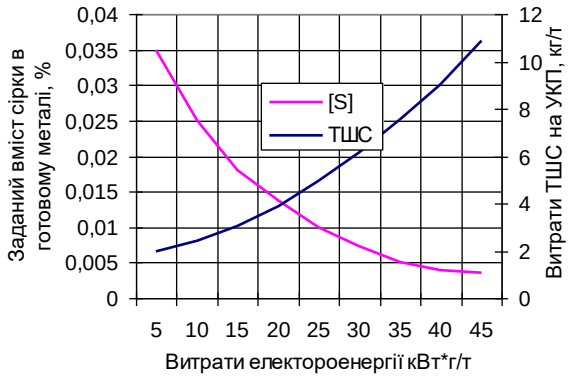


Рисунок1 - Номограма визначення витрат електроенергії в залежності від

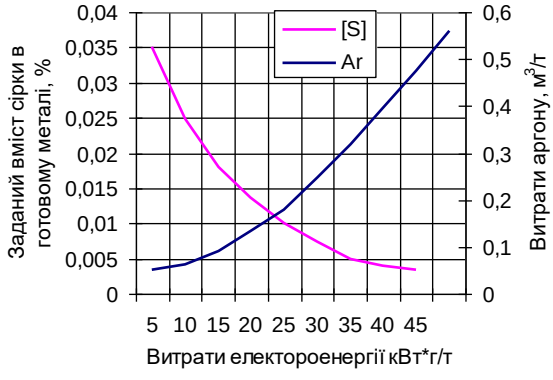


Рисунок 2 - Номограма визначення витрат електроенергії в залежності від

заданої концентрації сірки в металі і витрати ТШС на УКП

заданої концентрації сірки в металі і витрати аргону на УКП

Дані номограми дозволяють проводити розрахунок витрати електроенергії на УКП виходячи з вимог до заданого вмісту сірки в готовому металі, з урахуванням витрат ТШС і аргону при обробці на установці «ківш-піч».

УДК 669.162

А. К. Тараканов, В. В. Ефименко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр

ОПТИМИЗАЦИЯ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Оценивая значение отдельных регулируемых параметров доменного процесса во взаимосвязанном подборе оптимальных режимов загрузки и дутья, следует признать, что ведущим параметром оптимизации доменной плавки является распределение шихтовых материалов на колошнике.

Выбор параметров дутьевого режима плавки является следующим этапом оптимизации технологического режима работы печи. Совершенно очевидно, что при выборе оптимальных значений параметров дутья необходимо исходить из многообразного влияния процессов в фурменных очагах на работу доменной печи. Параметры фурменного газа определяют не только распределение газового потока вдоль радиуса печи, но также температурно-тепловой уровень плавки и газодинамику доменного процесса. Поэтому для обеспечения лучших технико-экономических показателей работы доменной печи необходимо поддерживать на оптимальном уровне значения комплекса обобщающих показателей дутьевого режима плавки. Обоснование этого набора важнейших показателей и их оптимальных для разных условий плавки значений является важной проблемой. Поиск же значений параметров дутья, обеспечивающих выход на оптимальные значения группы обобщающих показателей дутьевого режима плавки – это задача сравнительно легко решаемая, например, при использовании диалоговой системы «ДУТЬЁ», разработанной в Национальной металлургической академии Украины.

Диалоговая система «ДУТЬЁ» предназначена для расчета текущих значений комплексных показателей дутьевого режима доменной плавки (теоретической температуры горения топлива у фурм, кинетической энергии струи дутья, полной механической энергии фурменного газа, объема образующегося за единицу времени фурменного газа) и определения таких параметров дутья, которые при планируемых условиях обеспечивают поддержание выбранных комплексних показателей дутьевого режима плавки на заданном уровне.

Наиболее проблемным является обоснование комплексного показателя, который позволял бы оценивать степень проникновения газового потока к центру печи. В плотном слое кокса кинетическая энергия струи дутья гасится быстро, и возможность проникновения газа в центральную зону печи связана, главным образом, с наличием и размерами разрыхленной зоны перед фурмами, где газ движется, расходуя относительно медленно свою механическую энергию. Размеры разрыхленной зоны зависят не только от кинетической энергии струи дутья, но и от энергии давления и расширения фурменного газа в результате горения топлива.

Теоретически наиболее корректным способом учёта влияния горения топлива в фурменном очаге на размеры разрыхленной зоны и степень проникновения газового потока к центру печи является оценка термодинамической работы изменения объёма газа за 1 секунду вследствие его нагрева при горении топлива в кислороде дутья:

$$L = P_д \frac{V_{фгс} - V_{дс}}{n}, \text{ Вт,}$$

где L – термодинамическая работа расширения газа за 1 секунду (мощность расширения фурменного газа), вт;

$P_д$ – давление дутья, принимаемое за среднее давление газа в фурменном очаге, н/м^2;

$V_{фгс}$ – объём образующегося за 1 секунду фурменного газа при теоретической температуре горения топлива и давлении $P_д$, м^3/с;

$V_{дс}$ – секундный объём дутья, вдуваемого в печь при $t_д$ и $P_д$, м^3/с;

n – число воздушных фурм.

Полная механическая энергия (мощность) фурменного газа ($E_{фг}$) в этом случае может оцениваться как сумма кинетической энергии (мощности) струи дутья

и термодинамической работы расширения за 1 секунду объёма газа в фурменном очаге:

$$E_{фг} = \frac{Q_д(1,251+178\omega)+0,782Q_{пг}}{4237920\ n^3 \cdot f^2}\left[\left(Q_д+Q_{пг}\right)\frac{0,1(t_д+273)}{273(0,1+P_д)}\right]^2 + P_д\frac{V_{фгс}-V_{дс}}{n},$$ Вт;

где $Q_д$ и $Q_{пг}$– расходы дутья и природного газа, нм^3/с;

ω и φ – содержание кислорода и влаги в дутье, доли единиц;

$t_д$ – температура дутья, °С;

f – площадь свободного сечения воздушной фурмы, м^2.

Оптимальное значение $E_{фг}$, как и других обобщающих показателей дутьевого режима плавки, должно определяться для каждой доменной печи на основе статистических исследований.

УДК 669.18

Д. Н. Тогобицкая, Л. С. Молчанов, А. С. Вергун, В. Г. Кисляков, Ю. М. Лихачев

Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины, г. Днепр

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ БАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О СОСТАВЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ТЕХНОЛОГИИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЗЕРНИСТЫМ МАГНИЕМ

Разработаны концептуальные основы создания информационного ресурса подсистемы «Десульфурация» для изучения, выявления закономерностей и моделирования процессов внепечной обработки чугуна в частности с использованием зернистого магния. Согласно данной концепции информация хранимая в базе данных, адекватно отражает реальные параметры технологий внепечной обработки чугуна. Основой информационной технологии являются данные, учитывающие характеристики ковшей, химический состав и температуру чугуна, десульфуратор, а также состав чугуна и шлака по окончанию обработки. База данных представляет собой совокупность взаимосвязанных файлов данных определенной организации, регламентируемой соответствующим машинным паспортом.

Основные компоненты информационной поисковой системы (ИПС) – это программные средства, поисковый массив документов, средства обработки входной

информации подготовленной в среде Excel, обеспечивающие организацию и управление данными (ввод, хранение, защита, поиск и выдача) накопленного информационного ресурса. База данных является полнотекстовой формой организации документально-фактографической базы данных. Именно хранение текста в полном объеме дает возможность обеспечить тематический поиск по определенной проблеме или вопросу, что регламентируется соответствующим запросом,обеспеченнымгибким интерфейсом.

Адаптированная ИПС дает возможность: ввести документ, отредактировать его, произвести поиск и сформировать отчетные документы по результатам поиска в формате пользователя; хранить в БД документы разного типа (может быть, несколько десятков форматов документов); использовать для записи данных поля переменной (нефиксированной) длины; обеспечить хранение и работу с несколькими значениями одной характеристики в одном поле; реализовать гибкие поисковые функции при работе с текстом или фактографией.

Документ базы данных состоит из нескольких полей, которые объединяются в группы. Группа 1 описывает документальную часть базы (Таблица 1). Фактографическую часть описывает Таблица 2. Быстрый поиск информации обеспечивают соответствующие средства индексации по регламентирующим полям “Ключевые слова”,” Авторы ” и т.д.

Фактографическая информация (Таблица 2) позволяет решать задачу моделирования процессов десульфурации зернистым магнием в соответствии с указанным Пользователем запросом. Для оптимальнойработы с фактографическими данными использован метод хранения в реляционной базе «Sqlite».

Таблица 1 - документальную часть ИПС

Ключевые слова	Магний, азот, фурма с испарителем
Авторы	к.т.н. Двоскин Б.В.
Название	Разработка технологических решений и документации в комплексе работ по проектированию и освоению УДЧ сталь завода №2 Тангшаньского МК
Издание	РМ.07.04 г., Днепропетровск. - 2005. - 44 с.
Реферат	Освоена технология десульфурации магнием со снижением содержания серы до 0,002%
Референт	к.т.н. Кисляков В.Г.
Эксперт	к.х.н. Головко Л.А.
Предприятие	Тангшань– 2
Методика	Проведен осмотр и подготовка оборудования к работе. Проведены "холодные", "горячие" и гарантийные испытания работы установки. Химанализ проб чугуна выполнялся в хим. лаборатории предприятия и ИЧМ

Таблица 2 - Параметры технологии

Масса чугуна, т	Температура нач., °С	Температура конеч., °С	Масса реагента, кг	Сера исх., %	Сера конеч., %	Глубина погружения, м	Масса шлака, %	Интенсивность ввода, кг/мин.	Расход газа носителя, нм^3/час	Время обработки, мин.
39.5	1286	-	19.75	0.027	0.006	1.70	1.1	4	45	5:30
41.6		1293	25.79	0.032	0.004	1.85		4	35	6:00
34.0	1351	1335	18.70	0.024	0.005	1.70	0.8	4.5	30	4:00
38.5	1317	1280	23.10	0.026	0.006	1.80	0.8	4.5	35	5:06
37.0	1286	1255	23.31	0.034	0.005	1.85	0.8	4.5	35	5:01
38.5	1240	1208	23.49	0.055	0.005	1.80	0.8	4.5	35	5:08

СУБД «Sqlite» работает без сервера и позволяет накапливать и обрабатывать фактографию, расположенную в локальных файлах, что значительно увеличивает мобильность обработки информации.

УДК 669.187-194.52:669.786

Г. М. Трегубенко, Г. А. Поляков, С. М. Підгорний

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕКОНОМІЧНИХ СТАЛЕЙ З КАРБОНІТРИДНОЮ НАНОСТРУКТУРОЮ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Упродовж останніх років дуже інтенсивно здійснюють розробку сталей, що мають високий опір пластичної деформації і руйнуванню при робочих температурах до 450-550°С (теплостійких сталей). Для роботи при температурі до 550°С застосовуються перлітні і феріто-перлітні сталі. Вказані сталі використовуються в енергетичному машинобудуванні (для виготовлення котлів, посудин, паронагрівачів і паропроводів), а також в хімічному і нафтовому машинобудуванні.

Вимоги по хімічному складу і механічним властивостям сталей, працюючих при підвищених температурах на території СНД, детально описує нормативно-технічна документація (НТД): ГОСТ 20072-74 «Сталь теплостійка» і два галузеві стандарти ОСТ 108.961.03 «Виливки з вуглецевої і легованої сталі для фасонних елементів парових котлів і трубопроводів з гарантованими характеристиками міцності при високих температурах» і ОСТ 108.961.02 «Виливки з вуглецевих і легованих сталей для деталей парових стаціонарних турбін з гарантованими характеристиками

міцності при високих температурах».

Аналіз марок низьколегованих сталей, працюючих при підвищених температурах, свідчить про те, що найчастіше використовуваними легуючими елементами в сталях, є хром, молібден і ванадій (сталі 12ХМ, 15Х1М1ФЛ, 20ХМЛ, 20ХМФЛ, 25Х1МФ, 18Х3МФ, 20Х3МФ), рідше використовується ніобій, вольфрам і титан (сталі 20Х1М1Ф1ТР, 20Х1М1Ф1БР, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ).

Практичне застосування молібдену і ванадію для зміцнення сталі їх карбідами різко обмежується високою вартістю цих легуючих елементів, що потрібно враховувати при промисловому виробництві великогабаритних виливок, вага яких досягає 200 т (корпуси газових і парових турбін). Альтернативним способом підвищення властивостей міцності низьколегованих сталей, працюючих при високих температурах, може бути їх комплексне мікролегування азотом, титаном і алюмінієм, яке забезпечує високі механічні властивості вказаних сталей при підвищених температурах (250-450^{o}С) за рахунок зміцнення об'єму зерен високодисперсними карбонітридами титану, а їх меж - нітридом алюмінію.

У роботі встановлений вплив мікролегуючих і базових елементів на формування карбонітридної наноструктури в кремніймарганцевих теплостійких сталях. Визначені оптимальні температурно-часові параметри термообробки мікролегованої сталі 20ГСЛ.

Встановлено, що мікролегована сталь 20ГСЛ з карбонітридною наноструктурою за механічними властивостями при кімнатній температурі відповідає усім вимогам ОСТ 108.961.02 і ОСТ 108.961.03 навіть до найміцнішої сталі 15Х1М1ФЛ.

Визначено, що комплексне мікролегування азотом, титаном і алюмінієм низьколегованих кремніймарганцевих теплостійкої електросталі значно підвищує їх межу плинності при 250-450^{o}С і забезпечує його значення в 2,0-2,5 разу більше необхідного рівня. Межі плинності і міцності мікролегованої сталі 20ГСЛ при робочих температурах залишаються практично однаковими, що свідчить про їх стабільність в умовах теплових дій.

На підставі проведеного комплексу наукових досліджень розроблена технологія виробництва економічних сталей з карбонітридним зміцненням для енергетичного машинобудування. Розроблена технологія пройшла успішну апробацію в умовах ПАТ «Армапром» при виробництві сталі 20ГСЛ комплексно мікролегованої азотом, титаном і алюмінієм.

УДК 621.74:669-14

Р. В. Усенко, Е. А. Фролова, С. И. Репях

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

КЕРАМИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Одним из направлений развития современных технологий является использование материалов техногенного происхождения, требующих специальных условий утилизации и хранения. К числу таких материалов относятся отходы, образующиеся в результате сжигания каменного угля и шлак от выплавки меди. На сегодняшний день на полигонах утилизации ультрадисперсной золы сожжённого угля в Украине накоплено более 200 млн. тонн, а купершлака - порядка 100 тыс. тонн.

В литейном производстве данные материалы можно использовать в качестве технологических добавок в жидкостекольные формовочные и стержневые смеси с целью снижения затрат на выбивку отливок и стержней из отливок, в качестве наполнителей огнеупорной суспензии при изготовлении керамических оболочковых форм и т.п. В частности, ввод ультрадисперсной золы сожжённого угля в песчано-жидкостекольную смесь, отверждаемую по CO_2-процессу, позволяет уменьшить работу выбивки стержней в 2...3 раза, повысить чистоту поверхности отливок из чугуна и бронзы, на мелких и средних отливках предупредить образование механического пригара, уменьшить расход кварцевого песка на 8...12%..

В настоящей работе были определены основные технологические параметры формовочных смесей на основе материалов техногенного происхождения – шлака выплавки меди (купершлак) и золы тепловой электростанции. Проведен сравнительный анализ эффективности применения купершлака и золы тепловой электростанции различного фракционного состава.

Установлено, что использование в качестве компонентов материалов техногенного происхождения является наиболее эффективным, учитывая, прежде всего, состав по видам оксидов и количеству примесей. Определено влияние содержания данных материалов на основные технологические свойства

формовочных смесей. Разработана технология изготовления керамических оболочковых форм, при использовании возможно применение обычного действующего на большинстве профильных производств оборудования. Кроме того, обеспечивается значительное сокращение накладных расходов на исходных формовочных материалах и сокращении длительности технологического процесса изготовления форм, при обеспечении сравнительно высоких экологических показателей процесса.

Список литературы

1. Репях, С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / С. И. Репях. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

2. Usenko, R. V. The relative viscosity of the liquid-glass slurry filled with cooper slag / R. V. Usenko, S. I. Repyakh, V. F. Mazorchuk // Metallurgical and Mining Industry – 2017. – №3. – p.p. 20-22.

УДК: 669.162.275.2:661.3

Н. О. Цюпа, Д. О. Степаненко, А.І. Белькова, О.С. Скачко

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро

ДОСЛІДЖЕННЯ В’ЯЗКОСТІ І ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

В сучасному світі математичне моделювання високотемпературних процесів стало найбільш ефективним методом при прийнятті технологічних рішень підвищення продуктивності та ефективності металургійних процесів. Велику роль в забезпеченні високої точності прогнозних математичних моделей відіграє врахування фізико-хімічної взаємодії між компонентами оксидних систем.

На основі розробленої в ІЧМ НАНУ методики фізико-хімічного моделювання оксидних розплавів на рівні міжатомної взаємодії [1] та накопиченої і поповненої новими експериментальними даними в базі «Шлак» [2] інформації отримали розвиток моделі для прогнозування в’язкості, електропровідності, поверхневого натягу та температури хорошої плинності кінцевих доменних шлаків, що дозволяє оперативно

вирішувати завдання контролю властивостей продуктів доменної плавки у взаємозв'язку з сировинними і технологічними параметрами процесу з метою вибору залізорудної сировини з оптимальними властивостями.

Виконаний аналіз властивостей кінцевих доменних шлаків для конкретних умов металургійних комбінатів України та країн СНД показав, що шлаки доменних печей мають широкий діапазон зміни складу (0,683≤ρ≤0,732, де ρ- показник стехіометрії оксидних розплавів [1]), що свідчить про нестабільний склад шихтових матеріалів. Оскільки, оптимальна в’язкість, що забезпечить хорошу текучість, дифузійну рухливість та мінімальну корозійну активність кінцевих шлаків на випуску знаходиться на рівні 0,3 Па·с, то при температурі 1500 ºС цю в’язкість забезпечують шлаки зі стехіометрією ρ≈0,716, які є оптимальними з точки зору в’язкості.

З метою оцінки мікрогетерогенного стану досліджених шлакових розплавів виконаний розрахунково-аналітичний аналіз температурної залежності в’язкості і електропровідності, як найбільш структурно-чутливих властивостей. Із аналізу слідує, що для проаналізованих шлаків України та країн СНД в досліджених діапазонах температур криві графічної залежності в’язкості та електропровідності (приведені до масштабу [0÷1]) в силу їх характеру зміни від температури перетинаються (рис 1).

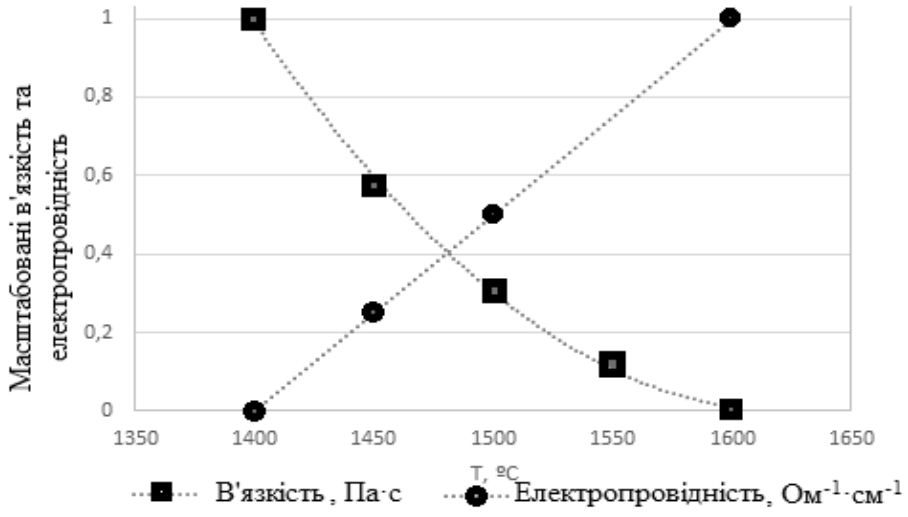


Рисунок. Температурна залежність в’язкості і електропровідності кінцевих доменних шлаків України та країн СНД

Температура точки перетину кривих в’язкості та електропровідності відповідає температурі початку утворення гетерополярних зв’язків в розплаві (мікрогетрогенність) [3] і при подальшому пониженню температури процес гетерогенізації підвищується.

Таким чином, на основі досліджених геометричних залежностей в'язкості та електропровідності доменних шлаків запропонований метод визначення критичної температури їх гетерогенізації, реалізація якого продемонстрована на прикладі кінцевого доменного шлаку складу: SiO_2 - 38,52%, Al_2O_3 - 7,46%, CaO - 44,89%, MgO - 7,10%, FeO - 0,33%, MnO - 0,40%, CaS - 0,98%, K_2O - 0,41%, Na_2O - 0,36%, ZnO - 0,0014%, що відповідає: η=0,33 Па·с; χ=0,27 $Ом^{-1}·см^{-1}$; Т=1480ºС (рис.).

Список літератури

1. *Приходько Э.В.* Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем / Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Д.А. Степаненко. – Днепропетровск: Пороги. – 2013. – 339 с.

2. *Приходько Э. В.* Базы физико-химических и технологических данных для создания информационных технологий в металлургии / Э. В. Приходько, Д. Н. Тогобицкая // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – №3. – С. 17-21.

3. *Степаненко Д.А.* Исследование микрогетерогенности расплавов доменных шлаков на основе их фазового состава / Степаненко Д.А., Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Баумер В.Н. // Металл и литье Украины. – 2012. - №1. – С. 35-39

УДК 669.184.235

А. Г. Чернятевич, Л. С. Молчанов, В. В. Вакульчук

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр

ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ

Для производства качественного железоуглеродистого полупродукта в 120-т конвертере, работающем по технологии комбинированной продувки предварительно рафинированного по сере чугуна ([S]≤0,005%) кислородом сверху с расходом 500 $м^3$/мин и нейтральным перемешивающим газом (N_2, Ar) через днище с интенсивностью 8-16 $м^3$/мин, разработана и опробована на опытно-промышленной кампании плавок новая конструкция двухъярусной водоохлаждаемой кислородной фурмы (рис. 1).

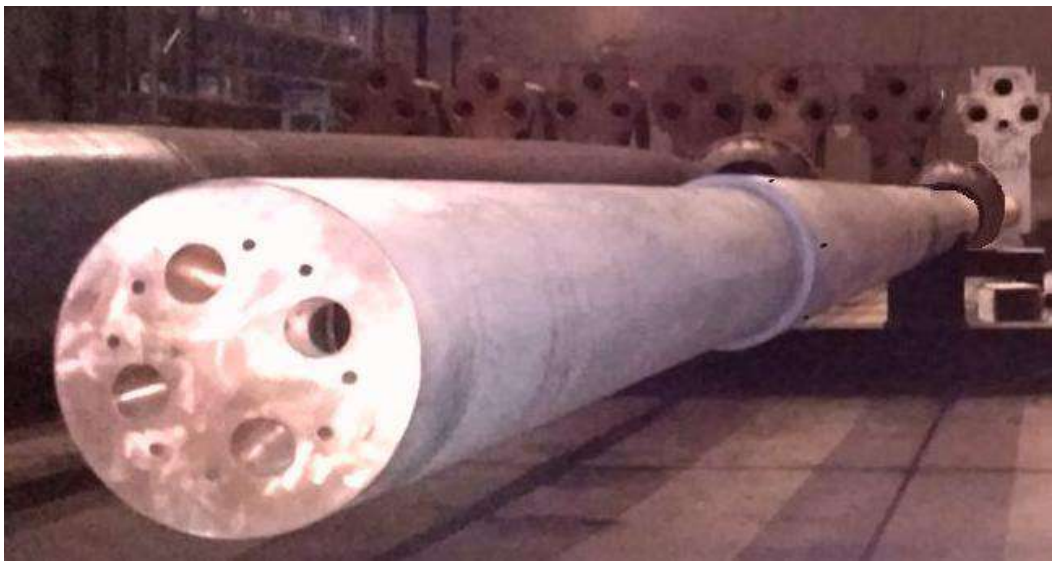


Рис. 1 – Прогрессивная конструкция двухъярусной кислородной фурмы

Фурма включает следующие конструктивные элементы: наконечник с двухрядным расположением 4-х сопел Лаваля и 8-ми цилиндрических, обеспечивающих непосредственную продувку металлического расплава разноимпульсными сверх- и звуковыми кислородными струями. На удалении 2 м от торца наконечника расположен верхний сопловой блок, включающий 8 цилиндрических сопел, предназначенных для формирования звуковых кислородных струй с целью частичного дожигания отходящих газов в полости конвертера.

Указанная двухъярусная фурма снабжена модернизированной системой подвода к ней охлаждающей воды и двух независимо регулируемых потоков основного и дополнительного кислорода с возможностью их полной замены на азот в нужные периоды операции.

В первом периоде продувки конвертерной ванны с использованием предложенной конструкции двухъярусной фурмы осуществляется преимущественно совместное удаление кремния и фосфора с промежуточным скачиванием шлака, а затем во втором периоде выполняется обезуглероживание расплава с достижением требуемых показателей его химического состава ([C],[P]) и температуры. После выпуска железоуглеродистого полупродукта в сталеразливочный ковш оставшийся в конвертере шлак, содержащий 7-9 % оксида магния, подвергается раздуву сверх- и звуковыми азотными струями при расходе азота 475 $м^3$/мин через наконечник с целью нанесения шлакового гарнисажа на футеровку агрегата.

Разработанная технология продувки с применением двухъярусной фурмы, оборудованной системой регулируемого подвода к ней двух потоков кислорода с заменой последних на азот, обеспечивает:

- ускорение растворения извести и магнезиальных шлакообразующих материалов без добавок плавикового шпата с формированием вспененной шлакометаллической эмульсии, способствующей интенсификации удаления фосфора при высоком содержании углерода в металлическом расплаве;

- повышение эффективности дожигания во вспененном шлаке «свищевого» потока CO, выходящего из основной реакционной зоны взаимодействия сверхзвуковых кислородных струй с ванной, путем формирования встречно направленной двойной завесы звуковых кислородных струй без агрессивного воздействия факелов дожигания на футеровку конвертера;

- осаживание чрезмерно вспененного шлака и подавление выбросов посредством кратковременной подачи азотных струй во вспененную шлакометаллическую эмульсию;

- предотвращение интенсивного заметалливания ствола фурмы и горловины конвертера;

- эффективное нанесение шлакового гарнисажа на футеровку конвертера.

УДК 669.162

А. Ф. Шевченко, И. А. Маначин, Б. В. Двоскин, В. П. Петруша

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОЦЕССОВ КОВШЕВОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА ИНЖЕКТИРОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ РЕАГЕНТОВ

Применение диспергированных реагентов в процессах внепечной обработки чугуна и стали позволило решить широкий круг вопросов и задач [1–3] повышения качества металлопродукции и улучшения технико-экономических показателей процессов выплавки металла. Результатами этого явилось увеличение производства выплавки чугуна и стали, расширение сортамента потребляемых шихтовых материалов, получение чугуна и стали с низким (≤ 0,010 %) и особо низким (≤0,005 %) содержанием серы.

При инжекционной десульфурации чугуна в ковшах на эффективность десульфурации влияет не только химический состав реагента, а в значительной степени и фракционно-дисперсный состав, параметры вдувания реагентов и газоносителя (через погружаемую фурму).

Результаты инжекционного рафинирования чугуна и эффективность десульфурации в весьма значительной степени определяется массообменными процессами между истекающим двухфазным потоком как в зоне его истечения из погружаемой фурмы, так и в прифурменной зоне. Экспериментальными исследованиями на холодных прозрачных моделях и при математическом моделировании было установлено [4,7], что на выходе из канала фурмы истекающая двухфазная струя образует газовую полость, в которой скорость газовой фазы снижается от максимальной практически до нуля. Таким образом, в процессе истечения двухфазной струи и частичного её затухания происходит разделение двухфазной на газовые (в основе) и высококонцентрированные среды [4-6]. Частично может образовываться низкоконцентрированная среда. Существенные изменения характеристик вдуваемых двухфазных потоков вносит значительные корректировки в механизм обменных процессов, особенно при вдувании магния, так как создаются благоприятные условия увеличения парциального давления магния в реакционной зоне, что способствует растворению магния в чугуне.

В итоге принципиально изменяется механизм тепло- и массообменных процессов и результаты рафинирования.

При вдувании реагентов в зернистом виде с диаметром частиц 0,3–1,6 мм происходит снижение активной поверхности реагента, но обеспечивается резкое увеличение глубины внедрения частиц реагента в расплав чугуна до 10–27 мм или на 10-15 их диметров. В этом случае происходит повсеместное и индивидуальное внедрение частиц реагентов в жидкий чугун, так как более крупные частицы реагента, имея большой запас кинетической энергии, пробивают пленку пузыря и внедряются вглубь расплава чугуна, при этом отделяясь от газа (как бы "стряхивая" с себя газовое окружение). Это изменяет механизм обменных процессов, что в случае применения зернистого магния резко увеличивает возможности насыщения чугуна магнием и обеспечения более выгодного механизма взаимодействия растворенных [S] и [Mg]. При вдувании зернистых реагентов рекомендована скорость истечения потока из фурмы в расплав чугуна более 80 м/сек.

При вдувании порошковых немагниевых реагентов с диаметром частиц ≤ 0,08 мм не достигается их полное внедрение в расплав чугуна, а происходит их лишь временное погружение. С учетом этого, эффективность массообменных процессов ухудшается, нивелируются преимущества инжекционной обработки и ухудшаются показатели десульфурации и экономики. Обосновано, что при вдувании порошковых немагниевых реагентов одним из важнейших параметров является концентрация реагента в газе. При вдувании порошкообразных немагниевых реагентов содержание твердой фазы во сплывающих пузырях изменяется в очень широких пределах – от 2 до 700–800 кг на 1 м^3. При вдувании мелкодисперсных порошковых реагентов твердые частицы практически не покидают объем двухфазной среды, а накапливаются в этом двухфазном объеме, за счет отделяющих газовых пузырей, т.е. происходит как бы сепарация двухфазной струи с увеличением концентрации твердой фазы до 700–800 кг/нм^3 (по мере удаления от среза сопла фурмы). При вдувании оксида кальция (извести) ввод алюминия в количестве 0,5–0,7 кг/т чугуна увеличивает степень десульфурации чугуна на 20 %. Применение природного газа для вдувания извести увеличивает степень десульфурации чугуна на 10 % (абсолютных). При добавке кальцинированной соды во вдуваемую известь (в количестве около 5 % в смеси) повышает степень десульфурации на 10–15 % абсолютных. Таким образом, активизация обменных процессов при инжекционной десульфурации известью за счет смены восстановителя (растворенного в чугуне [Si] на вводимый извне [Al]), дробление крупных известьсодержащих полостей в чугуне за счет замены газоносителя (азота или воздуха) на природный газ позволяет реализовать более выгодный механизм обменных процессов и увеличить степень десульфурации чугуна на 20–30 %. Следовательно, оптимизация механизма обменных процессов при внепечной инжекционной десульфурации чугуна различными реагентами имеет реальные резервы повышения эффективности и снижения затратности процессов внепечного обессеривания чугуна в ковшах. В итоге при вдувании порошкообразной извести рекомендована величина ее концентрации в несущем газе 40–60 кг/нм^3, применения восстановителя в виде Al, а также природного газа, кальцинированной соды (в смесь до 5 %) и других добавок, способствующих дроблению высококонцентрированных порошковых полостей в зоне истечения реагентов из фурмы.

Полученные научные предпосылки повышения эффективности десульфурации чугуна различными реагентами проверены в промышленных условиях. Моноинжекции зернистого (0,4–1,6 мм) магния через двухсопловую погружаемую фурму, при

достаточной скорости потока и требуемых режимах дозирования обеспечивает снижение серы в чугуне вплоть до ≤ 0,001 % и степень десульфурации чугуна вплоть до 99 %.

Список литературы

1. *Кудрин В.А.* Внепечная обработка чугуна и стали. – М., Металлургия: 1992. – 335 с.

2. *Найдек В.Л.* Повышение эффективности металлургических технологий внепечной обработки железоуглеродистых расплавов. Киев. Сб. докладов международной конференции. Производство стали в XXI веке. Прогнозы. Процессы, технологии, экономика. Изд. ЗАО "Укрсплав". 2000. – С. 16–23.

3. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. М., Металлургия. – 1980. – 239 с.

4. *Шевченко А.Ф., Маначин И.А., Вергун А.С. и др.* Внепечная десульфурация чугуна в ковшах. Технология. Исследования. Анализ. Совершенствование. Днепропетровск. "Дніпро–VAL". –2017. – 253 с.

5. *Степанов А.А., Зинченко С.Д., Ламухин А.И. и др.* Освоение технологии производства стали с использованием установки десульфурации чугуна в условиях конвертерного производства ОАО "Северсталь". М. –Бюлл. "Черметинформация". Черная металлургия. 2005, № 4. – С. 31–33.

6. *Ушаков С.Н., Авраменко В.Л., Бичеев В.А., Столяров А.М., Потапова М.В.* Производство трубной низкосернистой стали с ковшевой десульфурацией чугуна. М. Металлург. – 2017. – № 11. – С. 47–61.

7. *Большаков В.И., Шевченко А.Ф., Башмаков А.М.* Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. Киев. Наукова думка. – 2011. – С. 76.

УДК 669.162.267.642.669.721

С. А. Шевченко, В. И. Елисеев, Л. А. Флеер, А. Ф. Шевченко

Институт чёрной металлургии НАН Украины им. З.И. Некрасова, г. Днепр

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ПРИ ИНЖЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВА С ПОМОЩЬЮ ПОГРУЖНЫХ ФУРМ

Интенсификация процессов ковшевого рафинирования передельного чугуна инжекционными способами ограничена бурностью процесса волнообразования на поверхности ванны, крайняя степень которой приводит к выплескам расплава из ковша. Поэтому актуальным является установить ключевые факторы, влияющие на динамику процессов волнообразования на открытой поверхности ванны расплава и их взаимосвязь между собой.

Для проведения исследований за основу был взят процесс рафинирования чугуна в ковше зернистым магнием, где реагент вводится на глубину жидкой ванны путем инжекции в струе инертного газа через погружную фурму.

В этом случае основными возможными источниками возмущения верхнего слоя жидкой ванны могут быть различные процессы: схлопывание пузырей на поверхности, колебание фурменного устройства, отрыв пузырей в прифурменной зоне, всплытие пузырей, гидродинамические потоки в объеме жидкой ванны и т.п., что имеют различные амплитудно-частотные характеристики.

В литературе известно достаточно много работ различных авторов, посвященных изучению колебанию жидкости в емкостях. В которых, принципиально важным упрощением при рассмотрении динамики тел с жидкими слоями, является представление колеблющихся слоев в виде маятников. Такая постановка не раскрывает полностью процесс взаимодействия, однако на общем физическом уровне показывает важные детали развития движения рассматриваемой колебательной системы. В данной работе использован этот подход для рассмотрения взаимодействия колеблющегося слоя расплава в ковше с фурмой и участием генератора колебания заданной частоты.

Математическая модель колебания данной системы, как и в классической форме уравнения колебания маятника входит равенство сил – инерционной и упругой. В нашем случае добавлено еще силы взаимодействия между двумя телами: силу сопротивления и силу, связанную с присоединенной массой. Таким

образом, на основе уравнений движения жидкости и фурмы, а также уравнений собственной частоты жидкой ванны и фурмы было выведено уравнение собственной частоты системы в целом:

$$f_S{}^2 = -\frac{1}{2}\left(1+m_G+m_F\right)^{-1}\left\{\begin{array}{l}\left[\left(1+m_F\right)f_G{}^2+\left(1+m_G\right)f_F{}^2\right]\pm \\ \pm\sqrt{\left[\left(1+m_F\right)f_G{}^2+\left(1+m_G\right)f_F{}^2\right]^2-4\,f_G{}^2 f_F{}^2\left(1+m_G+m_F\right)}\end{array}\right\}$$

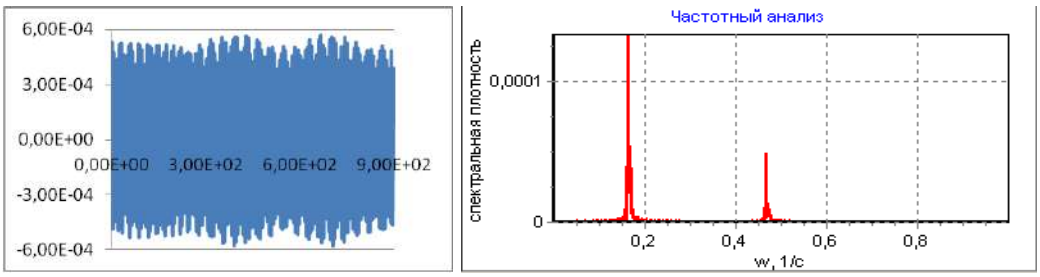
где $m_G = M_P / M_G$ и $m_F = M_P / M_F$, выраженные через присоединенную массу массы фурмы и массы жидкого слоя, а f_F и f_G их соответствующие резонансные частоты.

Результаты расчетов, приведенные на рисунке, демонстрируют насколько изменяются амплитуды колебаний системы первой и второй моды (fs1 и fs2) в зависимости от задаваемой частоты возмущения fp и собственных частот колебания жидкой ванны fg и фурменного устройства ff.

Дополнительно были проведены на холодной модели экспериментальные исследования колебаний свободно подвешенного стального стержня, погруженного в жидкость в колеблющемся сосуде.

Пример первый.

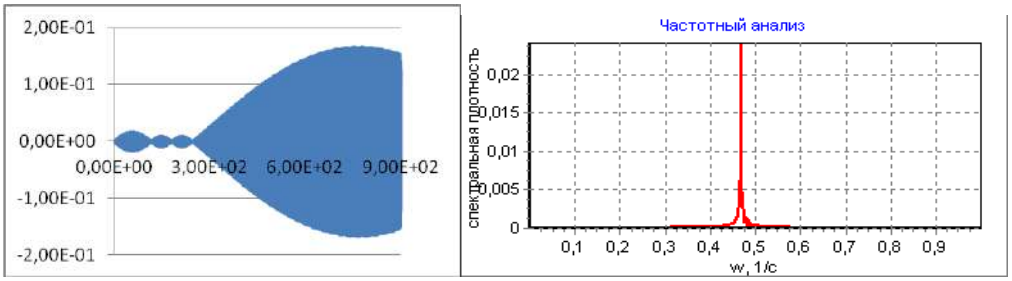
fg	ff	fs1	fs2	fp
4,70E-01	2,50E-01	1,68E-01	4,69E-01	1,68E-01



А Б

Пример второй.

fg	ff	fs1	fs2	fp
4,70E-01	4,90E-01	3,29E-01	4,70E-01	4,80E-01



А Б

Рис. Колебания слоя расплава. А – кривая изменения во времени X_G; Б – амплитудно-частотная характеристика X_G, полученная после быстрого преобразования Фурье

Длина маятника была выбрана таким образом, чтобы частота его собственных колебаний в покоящейся жидкости была заведомо меньше или лежала внутри задаваемого диапазона частот колебаний платформы.

Благодаря исследованиям установлено, что при приближении частоты колебаний жидкости к собственной частоте колебаний маятника длиной 60 мм частота его колебаний в некоторой области остается практически постоянной, в то время как частота колебаний маятника длиной 119 мм достаточно близко следует частоте колебаний сосуда.

На основе расчетно-аналитических и экспериментальных исследований колебаний маятников рассмотрена система, состоящая из слоя жидкости и фурмы. Получено, что помимо собственных частот этих элементов, система имеет еще две собственные величины. Ввиду того, что масса расплава значительно больше массы фурмы частота, близкая к резонансной частоте ванны практически определяет поведение системы при ее возмущении, т.е. система откликается практически только на те возмущения, у которых частота близка к собственной частоте жидкой ванны. Это важный результат говорит о том, что в практической деятельности необходимо знать резонансные частоты жидкой ванны, фурменного устройства и всех иных источников колебаний, соответственно с этим, стараться демпфировать амплитуду с этой возбуждающей частотой. Это можно делать, как конструктивно, так и технологически, изменяя режимы продувки. Однако необходимо указать, что спектр частот колебаний в прифурменной зоне довольно широк и, естественно, содержит в себе опасные низкие частоты.

УДК 669.184

П. О. Юшкевич, Л. С. Молчанов, С. О. Дудченко

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпро

СУЧАСНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ВЕРХНІХ ФУРМ ДЛЯ ПРОДУВКИ У КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРАХ

Одноярусні фурми, класичної конструкції, що на сьогодні використовуються під час верхньої та комбінованої продувки конвертерної ванни, на жаль мають ряд недоліків, що призводить до погіршення теплового балансу конвертерної плавки у ході продувки, складності у досягненні раннього наведення шлаку, ускладнення видалення фосфору при одночасному високому вмісті вуглецю [1, 2].

З метою підвищення ресурсо- та енергоощдності сталеплавильного виробництва у світовій практиці набуває актуальності використання альтернативних технологічних рішень, відносно конструкцій верхніх фурм до яких відносяться: фурми з тангенційним розміщенням сопел, дворядні, двоконтурні, багатоярусні та інші специфічні типи фурм.

При цьому найбільший інтерес мають конструкції фурм, що дозволяють максимально збільшити кількість керуючих впливів на хід продувки та суттєво покращити тепловий баланс у конвертерному агрегаті, з цієї точки зору найбільш перспективним є використання верхніх багатоярусних фурм, у зв’язку з тим, що вони забезпечують: збільшення кількості керуючих дій на хід продувки; покращення теплового балансу конвертерної плавки; можливість одночасної продувки двома типами газів; можливість збільшення кількісті металевого лому у завалці, вапна, плавикового шпату, агломерату та хромової руди, без застосування додаткових енергоносіїв. Таким чином, у майбутній реалізації нових технологій кисневоконвертерного виробництва на металургійних підприємствах України буде перспективним використання багатоярусних конструкцій фурм.

Список літератури

1. *Чернятевич А. Г.* Современное состояние и направления совершенствования конструкций дутьевых устройств для кислородно-конвертерных

процессов/ А.Г. Чернятевич // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – №7. – С. 20-23.

2. *Чернятевич А. Г.* Новые разработки конструкций кислородных фурм и способов продувки ванны 160-т конвертеров ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» / А. Г. Чернятевич, Е. Н. Сигарев, И. В. Чернятеви // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 1. – С. 31-38.

УДК 669.162

М. В. Ягольник, Ю. В. Михлик

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗДІЛЬНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ШИХТИ НА ПОКАЗНИКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

В даній роботі проаналізовані і узагальнені теоретичні і прикладні дослідження умов формування і зміцнення гранул шихти в процесі огрудкування. Розглянуті пропозиції і способи зміни параметрів зволоження агломераційної шихти. Запропоновані схеми підготовки сировинних матеріалів до спікання, зокрема використання роздільного зволоження шихти [1, 2].

При зміні параметрів зволоження шихти ставилися завдання: простежити за зміною основних показників процесу агломерації; зробити аналіз показників якості агломерату при різних варіантах зволоження шихти; вибрати оптимальний варіант враховуючи показники аглопроцесу.

Планувалося простежити за показниками аглопроцесу при зміні параметрів зволоження шихти, в зв'язку з цим було обрано 5 варіантів дослідів. У відповідності з попередніми розрахунками маса сухої частини шихти складала 2 кг. Склад шихт для досліджень приведено у таблиці:

По отриманим результатам експериментів можна зробити наступні висновки.

При кількості завантаженої шихти для одного спікання 2,38 кг та висоті шару шихти 290 мм в середньому час спікання тривав 8-16 хв. При цьому найбільша вертикальна швидкість спікання спостерігалася в 2-й серії спікань, вона становила 36,3 мм/хв. Меншу, але теж високу швидкість спікання мала 3 та 6 серії, вони становили 29,0 та 29,5 мм/хв. Таким чином варіант подачі води у шихту істотно

впливає на вертикальну швидкість спікання, через газопроникність, а внаслідок цього і на продуктивність аглоустановки. Маси отриманого агломерату коливались від 1935 до 1965 г. Усадка в спіканнях становила 10-40 мм.

Слід відзначити позитивну роль запропонованого технічного рішення, яке вплинуло на вихід годного агломерату та його міцність. При цьому найбільше зростання виходу годного у порівнянні з базовим спіканням спостерігалося в 6 досліді, а найбільна міцність на удар була в 4 та 5 спіканні - 94 %.

Найбільна продуктивність процесу спостерігається у дослідах 2 (зволоження концентрату) - 2,19 т/м^2·год, та у дослідах 3, 6 (відповідно зволоження вапна та звороту) - 1,8 та 1,82 т/м^2·год. Тут позитивно роль виконало так зване роздільне зволоження шихти, завдяки йому вдалося покращити умови отримання гранул шихти, що відобразилося на газопроникності шихти.

Таким чином, можна відзначити ефект від застосування роздільного зволоження шихти. Однак для повного розкриття потенціалу цього способу подачі води у шихту потрібно більшу увагу приділяти її підготовці – та можливо змішуванні таких компонентів як вапно та концентрат, вапно та зворот.

В роботі можна виділити найкращий варіант зволоження шихти, тоді, коли окремо зволожувалося вапно, враховуючи істотне збільшення продуктивності до 1,8 т/м^2·год та показники виходу годного та міцності агломерату.

Матеріал	%	1	2	3	4	5	6
		Зволоження всієї шихти (база), г	Зволоження окремих матеріалів, мл води				
			Концентрат, 50	Вапно, 7	Вапняк, 10	Руда, 50	Зворот, 55
Зворот	30	600	Інша шихта 130	Інша шихта 173	Інша шихта 170	Інша шихта 130	Інша шихта 125
Концентрат	26,9	540					
Руда	26,9	540					
Вапняк	5,14	100					
Коксик	7,0	140					
Вапно	4	*80*					
Вода усього	9,0	180	180	180	180	180	180

Список літератури

1. *Коротич В. И.* Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.

2. Теоретические основы производства окускованного сырья: Учеб. пособие / Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, В.П. Иващенко и др. – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.

Наукове видання

ЛИТВО. МЕТАЛУРГІЯ. 2019

**Матеріали XV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЛИТВО 2019**

**Матеріали VIII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МЕТАЛУРГІЯ 2019**

Редактори: Т.В. Берлізєва, С.В. Гнилоскуренко, Стоянов А.М.

Випуск підготовлено до друку
Запорізькою торгово-промисловою палатою

Підп. до друку 23.04.19 г.Формат 60×84 1/16. Бумага офсетна.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. стор. 18,94
Тираж 300 екз. Зам № 128.

Видавництво ПП «АА тандем»
Адреса: 69009, м. Запоріжжя,
вул.. В. Лобановського б. 27 оф. 69,
тел.. (050) 590-96-21
Свідоцтво про внесення державного реєстру видавців:
Серія ДК № 2899

Надруковано в тіпографії ТОВ «ФІНВЕЙ»
УкраїнаЮ, 69035, м. Запоріжжя, пр.. Соборний, буд. 145
тел.. (061) 220-03-06, 220-03-07
xprint_2007@ukr.net
Замовлення № 177/05.2007-А