



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

МАТЕРИАЛЫ

Международной
научно-технической конференции



Украина, Краматорск
2008

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

Физико-технологический институт
металлов и сплавов НАН Украины

Ассоциация литейщиков Украины

ЗАО «Новокраматорский
машиностроительный завод»

ОАО «Энергомашспецсталь»

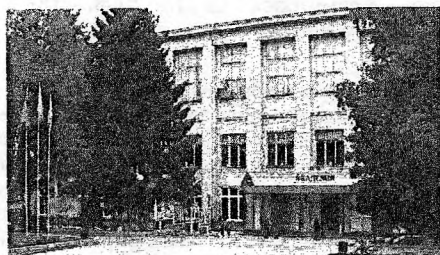
**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

МАТЕРИАЛЫ

МЕЖДУНАРОДНОЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Посвящается 55-летию ДГМА



Украина, Краматорск
2008

УДК 624.7

Рекомендовано к печати ученым советом
Донбасской государственной машиностроительной академии
Протокол № 11 от 01.07.2008

У збірнику представлено матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми ливарного виробництва: розробки прогресивних ресурсозберігаючих технологій, одержання литих виробів з різних металів і сплавів у разових ливарних формах і спеціальними способами лиття, фізико-хімічних основ металів і сплавів, теорії кристалізації й затвердіння виливків, розробки й використання перспективних формувальних матеріалів і сумішей, сучасних технологій виготовлення ливарних форм і стрижнів, моделювання, комп'ютерних інформаційних технологій, автоматизації й механізації ливарних процесів.

Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : материалы международной научно-технической конференции, 9–12 сентября 2008 г. / под общей редакцией А. Н. Фесенко. – Краматорск : ДГМА, 2008. – 188 с.
ISBN 978- 966-379-279-8.

В сборнике представлены материалы, освещающие актуальные проблемы литейного производства: разработки прогрессивных ресурсосберегающих технологий, получения литых изделий из различных металлов и сплавов в разовых литейных формах и специальными способами литья, физико-химических основ металлов и сплавов, теории кристаллизации и затвердевания отливок, разработки и использования перспективных формовочных материалов и смесей, современных технологий изготовления литейных форм и стержней, моделирования, компьютерных информационных технологий, автоматизации и механизации литейных процессов.

ISBN 978-966-379-279-8

УДК 624.7
© ДГМА, 2008

Международный программный комитет

- Авдеевко А. П.**, зав. кафедрой ХиОТ ДГМА, канд. хим. наук, проф.;
- Алиев И. С.**, проректор по научной работе и международным связям ДГМА, д-р техн. наук, проф.;
- Белкин М. Я.**, проф. кафедры МТиТОМ ДГМА, д-р техн. наук, проф.;
- Белобров Е. А.**, ведущий специалист КНПП «Формовочные материалы Украины», канд. техн. наук, ст. науч. сотр.;
- Бубликов В. Б.**, зав. отделом высокопрочных специальных чугунов ФТИМС НАН Украины, д-р техн. наук;
- Вейнов А. М.**, зав. лабораторией валков ЗАО «НКМЗ», д-р техн. наук, проф.;
- Волошин А. И.**, главный инженер ЗАО «НКМЗ»;
- Гринь А. Г.**, декан машиностроительного факультета ДГМА, канд. техн. наук, доц.;
- Еськов А. Л.**, зав. кафедрой экономики предприятия ДГМА, д-р экон. наук, проф.;
- Заблоцкий В. К.**, зав. кафедрой ТОЛП ДГМА, д-р техн. наук, проф.;
- Клименко С. И.**, директор департамента литейного производства Минпромполитики Украины;
- Ковалевский С. В.**, проректор по научно-педагогической работе ДГМА, д-р техн. наук, проф.;
- Лаптев А. М.**, зав. кафедрой МТиТОМ ДГМА, д-р техн. наук, проф.;
- Леонтьев А. А.**, главный металлург ОАО «ЭМСС»;
- Лунев В. В.**, директор ФТИ ЗНТУ, зав. кафедрой МТЛП ЗНТУ, д-р техн. наук, проф.;
- Марченко И. К.**, научный консультант НПО «НИИПТмаш», д-р техн. наук, проф.;
- Могилатенко В. Г.**, зав. кафедрой ЛП НТУУ «КПИ», д-р техн. наук, проф.;
- Панков В. А.**, председатель наблюдательного совета ЗАО «НКМЗ», д-р экон. наук, проф.;
- Пономаренко О. И.**, вице-президент Ассоциации литейщиков Украины, проф. кафедры ЛП НТУУ «КПИ», д-р техн. наук, проф.;
- Предраг Дашич**, проф. высшей технической школы, г. Трстенец (Сербия);
- Роганов Л. Л.**, зав. кафедрой МТО ДГМА, д-р техн. наук, проф.;
- Суков Г. С.**, председатель правления, генеральный директор ЗАО «НКМЗ»;
- Турчанин М. А.**, проф. кафедры ТОЛП ДГМА, д-р техн. наук;
- Федоринов В. А.**, ректор ДГМА, канд. техн. наук, проф.;
- Фесенко А. Н.**, первый проректор ДГМА, канд. техн. наук, доц.;
- Хрычків В. Е.**, зав. кафедрой ЛП НМетАУ, д-р техн. наук, проф.;
- Шинский О. И.**, зам. директора ФТИМС НАН Украины, д-р техн. наук, проф.;
- Шумаков В. Ф.**, главный металлург ЗАО «НКМЗ»;
- Шумихин В. С.**, зав. отделом физико-химии сплавов ФТИМС НАН Украины.

СОДЕРЖАНИЕ

Заблоцкий В. К., Фесенко А. Н. Кафедра технологии и оборудования литейного производства (ТОЛП) ДГМА. История, становление и сегодняшний день.....	11
Абдулов А. Р., Агравал П. Г., Древалъ Л. А., Турчанин М. А. Моделирование метастабильных фазовых превращений в системе Cu–Ti–Zr и прогнозирование концентрационных областей аморфизации расплавов.....	14
Агравал П. Г., Древалъ Л. А., Абдулов А. Р., Турчанин М. А., Великанова Т. Я. Термодинамическое моделирование равновесных фазовых превращений в системе Cu–Ti–Zr	16
Алиева Л. И., Абакумов Я. В. Пути совершенствования процессов холодного выдавливания.....	17
Бартель Г. П. Образование и строение металлических расплавов	18
Бартель Г. П. Перспективы использования литого инструмента из экономнолегированной инструментальной стали	21
Бартель Г. П., Емельяненко Е. В. Способ повышения стойкости чугунных изложниц	25
Белобров К. Е., Белобров Е. А., Белобров Л. Е., Карпенкова О. Л. Производство противопригарных покрытий и связующих для литейного производства	26
Белов Б. Ф., Троцан А. И., Бродецкий И. Л., Харлашин П. П., Паренчук И. В. Структуризация сплавов ферросилиция в жидком и твердом состояниях	28
Берчук Д. Н., Бубликов В. Б., Хохольков В. Н. Исследование особенностей процессов внутриформенного модифицирования чугуна магниевыми лигатурами Fe-Si-Mg (ФСМг7) и Fe-Si-Ca-Mg (ЖКМК-4)	30
Богуцкий А. А., Гринь А. Г. Газонасыщенность металла при наплавке самозащитной порошковой проволокой	31
Богуцкий А. А., Макаренко Н. А. Управление качеством биметаллического инструмента через газонасыщенность наплавленного металла	32
Борисовська К. М. Використання методу молекулярної динаміки для імітації механічної поведінки монокристалу титану	334
Бондарь А. А., Капацिला Т. И., Бобкова Ю. С. Формирование отливок со сложными внутренними полостями, не требующих последующей механической обработки	35
Бредихин О. В. Влияние химического состава на структуру и твердость белого легированного чугуна	37
Бредихин В. Н., Кульбида Е. П. Технология и оборудование для комплексной переработки отходов алюминия.....	39

Бродецкий И. Л., Троцан А. И., Белов Б. Ф. Способ определения структурно-чувствительных свойств металла осевой зоны непрерывнолитой стали при разрушении в z-направлении	40
Бубликов В. Б. Развитие технологий высокопрочного чугуна	42
Бубликов В. Б., Козак Д. С., Зеленая Л. А. Особенности технологии получения модифицированной графитизированной стали	43
Будагьянц Н. А., Жижкина Н. А., Гутько Ю. И. Центробежное литье валков для горячей прокатки	44
Буланова М. В., Фартушная Ю. В., Подрезов Ю.Н. Влияние Si, Sn и Al на механические свойства сплавов системы Ti-Du	45
Бурнашев В. Р. Плазменно-дуговая гарнисажная плавка (ПДГП) ферросплавов и лигатур	47
Вейнов А. М. Формирование структуры при кристаллизации из неоднородного Al-Si расплава, в котором реализуется монотектическое расслоение	48
Великанова Т. А., Турчанин М. А., Агравал П. Г., Карпец М. В. Исследование и моделирование условий образования стабильных и метастабильных марганцеподобных фаз в многокомпонентных системах на основе железа	49
Верховлюк А. М., Шумихин В. С. Влияние межфазных свойств на форму графитовых включений при кристаллизации чугуна	50
Власов А. Ф., Богоцкий А. А., Дубовик Ю. А. Способ электрошлакового переплава в футерованном тигле	52
Волокита В. Я. Разработка и внедрение энергосберегающих технологий, обеспечивающих качество и повышение конкурентоспособности литых стальных деталей на ЗАО «НKMЗ»	53
Городчиков В. Н. Создание технологии производства литья с выходом годного более 70 %	54
Гресс А. В. Математическое моделирование ликвационных процессов в кристаллизующейся стальной отливке	55
Гресс А. В., Кобзева А. И. Моделирование влияния электрического тока на макроструктуру кристаллизующегося слитка	57
Гнатушенко А. В., Биктагиров Ф. К., Шаповалов В. А., Игнатов А. П. Переработка алюминиевой стружки в солевых расплавах	58
Гринь А. Г., Свиридов А. В. Оптимизация состава комплекснолегированного медного шва по газонасыщенности	60
Гуныко И. И. К расчету конструктивных параметров лопастного смесителя	61
Гуныко И. И., Порохня С. В. Построение 3D-моделей импульсных головок	63
Гуныко И. И., Порохня С. В. Пути усовершенствования формовочной машины	64

<i>Гулько И. И., Яковлев А. В., Порохня С. В.</i> Валковый смеситель для песчано-глинистых смесей.....	65
<i>Дан Л. А.</i> Использование ФГМ как способа повышения разгаростойкости чугунных и стальных отливок.....	67
<i>Дардесов А. А., Мотов С. Н.</i> Перспективы развития производства прокатных валков	68
<i>Денисенко В. Н., Березка А. Н.</i> Влияние температуры перегрева на свойства доменных чугунов некоторых металлургических заводов.....	69
<i>Доній О. М., Горелкін Д. М., Котляр С. М.</i> Керування розподілом феромагнітних твердих часточок у об'ємі рідкого алюмінієвого сплаву	71
<i>Дорошенко С. П., Лютий Р. В.</i> Первый специальный словарь терминов по литейному производству на четырех языках.....	72
<i>Доценко Ю. В.</i> Впровадження комплексної технології одержання якісних виливків із алюмінієвих сплавів	73
<i>Древаль Л. А., Агравал П. Г., Абдулов А. Р., Соловьев Н. В., Турчанин М. А.</i> Термодинамическое моделирование фазовых превращений в системах Cu–Ti, Cu–Zr и Ti–Zr	74
<i>Жбанков Я. Г., Москаленко М. С.</i> Радиально-прямое выдавливание на оправке	76
<i>Жбанков Я. Г., Чуйко Л. В.</i> Деформированное состояние заготовок в процессе радиально-прямого выдавливания.....	77
<i>Жегур А. А., Хрычиков В. Е., Репях С. И.</i> Исследование температурных полей и напряжений в стенке профилированного кокиля с полукруглыми калибрами	78
<i>Заблоцкий В. К.</i> Закалка с самоотпуском и перспективы ее применения	80
<i>Заблоцкий В. К., Дьяченко Ю. Г.</i> Борохромоалитированные покрытия в условиях абразивно-жидкостного трения с незакрепленными частицами	81
<i>Заблоцкий В. К., Лапченко А. В.</i> Обоснование области эффективного использования процессов насыщения сталей В, Ti и Al в порошковых смесях	83
<i>Заблоцкий В. К., Мелещенко И. Ю.</i> Влияние изотермической закалки при 300 ⁰ с на свойства стали 55Х4СМФ	84
<i>Заблоцкий В. К., Корсун В. А., Фесенко М. А.</i> Диференціювання структури поверхневих шарів високоміцного чавуну після насичення карбідоутворюючими елементами V, Cr, Ti.....	86
<i>Заславский А. М., Капитан А. В.</i> Влияние скорости охлаждения на микроструктуру сплавов	87
<i>Иванова Л. Х., Ивонин И. В.</i> Исследование структуры и свойств прокатных валков из высокопрочных чугунов.....	89

<i>Иванов В. Г., Сажнев В. Н., Лунев В. В.</i> Технологические особенности производства серого чугуна для монтажа подовых секций алюминиевых электролизеров	90
<i>Иванов Г. А., Скребецов А. М., Кузьмин Ю. Д.</i> Новая технология выплавки легированной стали с вводом в расплав перед выпуском мелкокристаллической шихты.....	92
<i>Кабацкий В. И., Кабацкий А. В.</i> Оптимизация механических свойств металла высокопрочных низколегированных сварных швов	93
<i>Каратеев А. М., Пономаренко О. И., Евтушенко Н. С., Литвинов Д. А., Тищенко А. Н., Накурда О. И.</i> Использование смол в литейном производстве	94
<i>Козоброд Д. Б., Фесенко А. Н.</i> Новый способ изготовления пенополистироловых моделей.....	95
<i>Конончук С. В., Скрипник А. В., Сабирзянов Т. Г.</i> Основные параметры ваграночного процесса, влияющие на горение кокса в вагранке	96
<i>Косенко М. В., Назорская И. В.</i> Изготовление полых конических изделий с применением активных сил трения	97
<i>Лаптев А. М., Захарчук С. С., Вейнов А. М., Плугатарь С. И.</i> Моделирование спрейерной закалки крупных прокатных валков	99
<i>Лысенко Т. В., Носенко Т. И., Становский А. Л.</i> Влияние параметров косвенного синхронизирующего управления охлаждением отливки в форме на точность синхронизации.....	100
<i>Макаренко Н. А., Кошевой А. Д., Грановский Н. А., Богоуцкий А. А., Куций А. М.</i> Плазма-миг наплавка алюминиевых сплавов порошковой пюшонкой. Разработка шлаковой системы	102
<i>Могилатенко В. Г., Гурія І. М., Малай О. І., Яблонський А. А.</i> Дослідження термодинаміки реакцій порофорів в алюмінієвому розплаві	103
<i>Могилатенко В. Г., Евтушенко Н. С., Власик І. А.</i> Вплив фторцирконату калію і нітриду титану на кінетику кристалізації заевтектичного силуміну КС740	105
<i>Могилевцев О. А.</i> Проектирование согласованной работы формовочного и плавильного отделений литейного цеха	107
<i>Мясушкин Е. А., Абашева А. Г.</i> Автоматизация расчета процессов выдавливания на основе визуализации постановки задачи.....	108
<i>Нестерук Е. П., Бубликов В. Б.</i> Исследование процесса модифицирования чугуна в прямоточном и центробежном реакторах	109
<i>Онишко Г. В., Дараган В. И., Плотниченко А. В.</i> Разработка и внедрение технологии изготовления крупных отливок запорной арматуры для нефтепроводов	111
<i>Пельх В. Ф., Пономаренко О. И., Погорелый А. М., Радченко А. А.</i> Восстановление железа из оксидосодержащих материалов.....	113

<i>Полушкина И. Ю., Еременко А. П., Лоза А. С.</i> Исследование влияния графитизирующего модифицирования на процесс кристаллизации высокопрочного чугуна	114
<i>Пономаренко О. И.</i> Математические методы в литейно-технологических исследованиях	117
<i>Порохня С. В., Фесенко А. Н.</i> Анализ металла стальных отливок при литье по пенополистироловым моделям	119
<i>Порохня С. В., Фесенко А. Н.</i> Кинетика газовыделения при термической деструкции пенополистирола	121
<i>Порохня С. В., Фесенко А. Н.</i> Тепловой режим литейных форм с пенополистироловыми моделями	123
<i>Приходько О. В., Царева М. А.</i> Алгоритм оптимизации и программа для расчета шихты при выплавке высококачественных углеродистых сталей	124
<i>Роганов Л. Л., Роганов М. Л.</i> Гидроупругий механизм в литейных машинах и технологиях	125
<i>Роик А. С., Сокольский В. Э., Казимиров В. П., Самсонников О. В., Бойко В. П., Мазур А. В.</i> Рентгенографическое исследование расплавленного силумина (20.1 мас. % Si)	127
<i>Рохлин Л. Л., Бочвар Н. Р., Добаткина Т. В., Лысова Е. В.</i> Особенности литой структуры, формирующейся в сплавах алюминия со скандием, хромом и марганцем, обусловленные соответствующими диаграммами состояния тройных и четверных систем	128
<i>Сабирзянов Т. Г., Мошнягул В. В., Надворный Б. Е.</i> Использование электропечных шлаков ферроникелевого производства при изготовлении шлакобетонных изделий	130
<i>Селиверстов В. Ю.</i> Снижение брака отливок из алюминиевого сплава, заливаемых в кокиль, при газодинамическом воздействии на расплав	131
<i>Семёнова Т. В.</i> Методические подходы к определению технического уровня литейного производства	132
<i>Сигарев Н. К., Пронской Л. И., Стороженко С. А.</i> Оптимизация температурного режима металла	134
<i>Стороженко С. А.</i> Особенности перемешивания металлической ванны при продувке инертным газом	135
<i>Сторчак-Федюк А. М., Петюх В. М., Артюх Л. В.</i> Дослідження структури литих сплавів системи Cu–Ti–Zr	137
<i>Тараненко Н. А., Гутько Ю. И.</i> Виртуальное моделирование технологического процесса отливки «брус» с использованием СКМ ProCAST	138
<i>Турчанин М. А., Агравал П. Г., Великанова Т. Я., Бондар А. А., Корниенко К. Е., Картузов В. В.</i> Термодинамическое моделирование фазовых соотношений в системе Ti–B–Si–C в области составов $B_4C-SiC-TiB_2$	139

<i>Ульянов О. М., Чернишова Н. В., Грибкова С. М.</i> Попереднє економічне обґрунтування технологічних проєктів ливарного виробництва	140
<i>Уткін С. В., Кублій В. З., Петюх В. М., Лисенко С. І., Бондар А. А., Великанова Т. Я.</i> Структура та властивості литих сплавів системи Fe–Mo–В, багатих на залізо	141
<i>Федоров Н. Н.</i> Новые технологии в производстве бентонитовых формовочных глин из местного глинистого сырья	142
<i>Федоров Г. Е., Платонов Е. А., Кузьменко А. Е., Ямшинский М. М.</i> Новые жаростойкие безникелевые стали и технологии изготовления из них литых деталей, работающих при температурах до 1300 °С	144
<i>Федьков А. В., Федьков В. А., Федьков Г. А., Минакова В. И.</i> Влияние содержания серы и модифицирования на свойства стали 35X06СЛ	145
<i>Федьков А. В., Федьков В. А., Федьков Г. А., Минакова В. И.</i> Влияние модифицирования на разрушение высокомарганцевой стали	146
<i>Федьков А. В., Лунев В. В.</i> К вопросу об управлении процессом десульфурации в индукционных печах	148
<i>Федьков А. В., Федьков В. А., Минакова В. И.</i> Износостойкие и термостойкие литые стали для отливок горно-обогатительного и металлургического оборудования	149
<i>Фельдман В. Е.</i> Ликвация элементов в крупных поковках стали М27	150
<i>Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Косячков В. А.</i> Исследование процессов внутрiformенного модифицирования расплава чугуна	152
<i>Фесенко А. Н., Фесенко М. А.</i> Ресурсосберегающие технологии получения чугунных отливок с разнородной структурой и свойствами из базового расплава	153
<i>Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Косячков В. А.</i> Имитационное моделирование процессов внутрiformенной обработки расплава и получения двухслойных отливок	156
<i>Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Емельяненко Е. В.</i> Основные тенденции и перспективы развития технологических процессов изготовления стержней	159
<i>Фесенко М. А., Косячков В. А., Фесенко А. Н.</i> Перспективные технологии изготовления отливок с дифференцированными структурой и свойствами	161
<i>Хасан О. С., Чайковський О. А., Петухова Г. А.</i> Дослідження розчинення ФХ-0,25 у ливарній формі	163
<i>Хрычиков В. Е., Меньяло Е. В.</i> Особенности затвердевания отливок из высокопрочного чугуна в комбинированных кокильно-песчаных формах	165

Чейлах А. П., Шейченко Г. В., Олейник И. М. Новые экономнолегированные литые метастабильные сплавы, самоупрочняющиеся при эксплуатации	166
Черныш С. В., Кочешков А. С. Литье биметаллических ювелирных изделий	169
Чернышова Н. В., Грибкова С. Н., Харитонова В. О. Анализ резервов увеличения производительности труда в термообдирочном цехе ОАО «Энергомашспецсталь»	170
Чигарев В. В., Кассова Е. В. Методы повышения срока службы деталей машин, изготовленных литьем	171
Шейко А. А., Зеленый Б. Г., Бубликов В. Б. Получение высокопрочного чугуна ВЧ 400-15 в литом состоянии	173
Шейко О. І., Клименко В. А., Прядко О. С. Вплив гранулометричного складу наповнювача на технологічні властивості формувальних і стрижневих сумішей	174
Шейко О. І., Дробязко В. М. Сучасні способи підвищення ефективності протипригарних покриттів для піщаних форм і стрижнів	175
Шинский О. И., Бердыев К. Х., Дорошенко В. С. Литье по газифицируемым моделям позволяет вынести пескооборот за территорию литейного цеха	177
Шишкин А. А. Моделирование систем сепарации смесей литейных цехов	179
Шумаков В. Ф. Литейное производство «НКМЗ»: возрождение и перспективы	180
Яковлев А. В., Радченко Н. Н. Применение меднистой стали для замены отдельных видов бронз и латуней.....	182
Яковлев А. В., Фесенко А. Н. Пути упрочнения жидкостекольных формооболочек для точного литья	183
Ярмоленко А. И., Жук В. Л., Елагин В. Н., Непочатов А. В. Особенности физико-химических процессов в коксогозовых вагранках, применяемых при производстве чугуновых мелющих тел на ЗАО «МЛЗ»	185
Эффенберг Г., Ильенко С., Довбенко А., Турчанин М. Роль MSI в мировом сотрудничестве в области материаловедения	186

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА (ТОЛП) ДГМА. ИСТОРИЯ, СТАНОВЛЕНИЕ И СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ

Заблоцкий В. К., Фесенко А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Кафедра технологии и оборудования литейного производства (ТОЛП), а ранее кафедра литейного производства, как самостоятельное подразделение, была основана и утверждена Министерством образования в 1961 году.

До создания специальной кафедры подготовка без отрыва от производства специалистов-литейщиков осуществлялась преподавателями объединенной кафедры литейного производства и металловедения. Первый выпуск инженеров-литейщиков был осуществлен в 1957 году, а первый выпуск инженеров-литейщиков дневной формы обучения – в 1965 году. Параллельно на кафедре по вечерней форме обучения велась подготовка инженеров-механиков литейного производства. Первый прием студентов на дневную форму обучения по специальности «Машины литейного производства» был проведен в 1973 году. В 1976 году кафедра литейного производства была разделена на две кафедры – «Машины литейного производства» (МЛП) и «литейное производство» (ЛП), которые осуществляли подготовку специалистов по одноименным специальностям. В 1988 году эти две кафедры были снова объединены в одну – «Технологии и оборудование литейного производства» (ТОЛП).

Первым заведующим кафедрой литейного производства был Миклухин Д. Е., который сформировал первый преподавательский состав, начал создавать лабораторную базу, наладил связи с предприятиями Краматорска и других городов, организовал на кафедре научно-исследовательскую группу.

Первыми преподавателями кафедры были канд. техн. наук Белкин М. Я., канд. техн. наук Ежов Г. И., Богданова Л. К., Петрик Л. С., Чухлебов А. Ф., Майданюк К. Ф.

За время существования кафедры ее возглавляли д-р техн. наук Белкин М. Я. (позже заведующий кафедрой металловедения и термической обработки), кандидаты технических наук Беловодченко А. И., Ежов Г. И., Денисенко В. Н., Глушенко В. Г., Мандрик Е. А., Иванов В. Т., д-р техн. наук Марченко И. К., канд. техн. наук Фесенко А. Н.. С 2005 года кафедру возглавляет д-р техн. наук, проф. Заблоцкий В. К.

В настоящее время кафедра ТОЛП осуществляет подготовку по дневной и заочной формам обучения бакалавров, специалистов и магистров по двум специальностям: «Литейное производство черных и цветных металлов» и «Оборудование литейного производства». Преподаватели кафедры обеспечивают обучение студентов по 76 учебным дисциплинам, которые читаются на русском и украинском языках, часть из которых – дисциплины свободного выбора студентов. Учебно-воспитательный процесс

на кафедре ведут 16 преподавателей, среди них 3 профессора, доктора наук, 4 доцента, канд. техн. наук, 4 старших преподавателя, 2 из которых имеют ученую степень кандидата наук и 5 ассистентов, один из которых – кандидат наук. Кроме этого, в учебном процессе задействовано около 15 высококвалифицированных ведущих специалистов ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (НКМЗ), АО «Краматорский завод тяжелого станкостроения» (КЗТС), ОАО «Старокраматорский машиностроительный завод» (СКМЗ), ОАО «Энергомашспецсталь» (ЭМСС) г. Краматорск, ОАО «Дружковский машиностроительный завод», ОАО «Бетонмаш», ОАО «Славтяжмаш» г. Славянск и др., которые руководят ознакомительной, конструкторской, технологической и преддипломной практиками, курсовым и дипломным проектированием, являются председателями и членами государственных экзаменационных комиссий, читают учебные дисциплины или их отдельные разделы.

Теоретическая и практическая подготовка специалистов ежегодно совершенствуется с учетом основных тенденций развития технологий и оборудования в области литейного производства с использованием новейших технологий обучения и компьютерно-информационных технологий. Этому способствуют возможности, предоставляемые ведущими предприятиями студентам и преподавателям, использовать информационные и материальные базы, а также современное оборудование и перспективные технологии литья, плавки металлов, которые используются на НКМЗ, КЗТС, ЭМСС и других предприятиях Украины. Конкретные задачи предприятий, которые внедряются в производство, лежат в основе тематик курсового и дипломного проектирования.

На кафедре реализуется программа работы с одаренными студентами. В эту программу включены студенты с 1-го по 5-й курс. Каждый студент имеет индивидуальный план учебного процесса и выполнения научно-исследовательской работы, по результатам которой ежегодно проходят аттестацию. Студенты-литейщики принимают активное участие в региональных и международных конференциях, ежегодно участвуют в конкурсах студенческих работ и во Всеукраинской олимпиаде по литейному производству, где в последние годы становятся победителями и занимают призовые места. На кафедре ведется подготовка аспирантов дневного отделения и соискателей преподавателями доктором технических наук, профессором Заблоцким В. К., доктором химических наук, профессором Турчаниным М. А., кандидатом технических наук, доцентом Фесенко А. Н.

На современном уровне находятся учебные и лабораторные аудитории. На кафедре функционируют компьютерный класс, оснащенный современной компьютерной и периферийной техникой, 2 лекционные аудитории, оснащенные мультимедийными средствами, графопроекторами и другими ТСО, и 10 специализированных лабораторий с современными стендами, оборудованием, приборами, лабораторными установками, среди которых: литейный зал, лаборатория физико-химических свойств металлов, лаборатория формовочных материалов и специальных видов

литья, лаборатория художественного и ювелирного литья, лаборатория структурного анализа, лаборатория автоматизации и механизации литейного производства, лаборатория металлургических процессов, лаборатория литейного оборудования и др.

Кроме материальной базы кафедры, в учебном процессе используется также материально-техническая база филиала кафедры, который успешно работает на ЗАО «НКМЗ». На филиале кафедры в учебном процессе используется современное оборудование – печь-ковш для получения металла высокой чистоты, современные смесители для приготовления смесей и формовочное оборудование для изготовления литейных форм, современные приборы для химического анализа металлов и сплавов, металлографическое оборудование и другое.

Все выпускники кафедры, включая студентов контрактников, распределяются и трудоустраиваются по специальности, большинство – на крупные промышленные предприятия городов Краматорска, Славянска, Дружковки, Константиновки, Донецка, Днепропетровска, Макеевки, Харькова, Ясиноватой, Кременчуга, Полтавы и других. При этом в последние годы неудовлетворенный спрос на молодых специалистов выпускников кафедры превышает 60–80 %. Договора на трудоустройство, которые имеют выпускники кафедры, сегодня заключены с 25 предприятиями и организациями Украины. Отзывы предприятий, на которых работают выпускники нашей кафедры, положительны и свидетельствуют о высоком уровне подготовки студентов в области литейного производства.

Наряду с учебно-воспитательным процессом на кафедре постоянно ведется и научно-исследовательская работа.

Основными направлениями научно-исследовательской работы кафедры являются:

1. Разработка новых направлений и внедрение теории, технологии и оборудования для изготовления точных отливок с использованием пенополистироловых газифицируемых и растворяемых моделей.

2. Разработка и внедрение методики автоматизированного проектирования литейных машин с использованием пакетов «Inventor», «Solid Works».

3. Разработка новых составов чугунов и сталей, перспективных технологий изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами, а также методов неразрушающего контроля структуры отливок.

4. Исследование физико-химических и свойств металлических расплавов и термодинамических свойств сплавов.

По результатам исследований по разным направлениям сотрудниками кафедры опубликовано более 235 научных статей, защищено около 30 авторских свидетельств и патентов Украины, разработано большое количество научно-методических указаний и пособий.

На протяжении последних пяти лет работниками кафедры было выполнено две госбюджетные научно-исследовательские темы: «Усовершенствование теории, технологии и оборудования литейного производства»

и «Разработка новых направлений и внедрение теории, технологии и оборудования производства режущего и штамповочного инструмента, изготовленного методами литья».

Научная деятельность специалистов кафедры ТОЛП была неоднократно подтверждена международными и государственными грантами: грант Соросовского фонда, грант молодого ученого и преподавателя международной научно-образовательной программы.

Сотрудники кафедры поддерживают тесные творческие связи с научными коллективами в Украине и за ее пределами: Институтом проблем материаловедения НАН Украины, Физико-технологическим институтом металлов и сплавов НАН Украины, Институтом металлофизики НАН Украины, Национальным техническим университетом Украины «КПИ» (г. Киев), Технологическим университетом МИСИС (Россия), Институтом физической химии Университета Карлсруэ (Германия), Университетом Наталь (ЮАР). В настоящее время кафедра принимает участие в международной научной программе MSIT Binary Evaluation Program, что проводится Международным центром химии веществ и фазовых диаграмм (Германия).

За период существования кафедра подготовила более 5000 молодых специалистов, работающих на предприятиях Украины и стран ближнего зарубежья, которые сохраняют благодарную память о своей alma mater и родной кафедре.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ Cu-Ti-Zr И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ОБЛАСТЕЙ АМОРФИЗАЦИИ РАСПЛАВОВ

Абдулов А. Р., Агравал П. Г., Древаль Л. А., Турчанин М. А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В наших работах [1] было показано, что концентрационные области аморфизации двухкомпонентных расплавов методом закалки могут быть корректно оценены на основании термодинамического расчета сопоставлением термодинамических стабильностей переохлажденной жидкости и граничных твердых растворов. В этом случае предполагается, что образование ИМС в ходе быстрого охлаждения сплава подавлено кинетически. При поиске предельных составов жидких сплавов, способных к аморфизации закалкой, целесообразно руководствоваться относительным положением метастабильной линии ликвидуса между переохлажденной жидкостью и предельным твердым раствором Φ и положением соответствующей линии $T_0^{ж/\Phi}$ при температуре стеклования. Одной из задач настоящей работы стало распространение данного подхода на расплавы трехкомпонентных систем. С этой целью нами были проведены расчеты метастабильных

равновесий с участием переохлажденной жидкой фазы, β - и Cu-фазы. Расчеты были проведены вдоль ряда сечений с различным соотношением титана и циркония.

Результаты расчетов, выполненных для сечений системы Cu–Ti–Zr и двойных систем Cu–Ti и Cu–Zr, обобщены на рисунке 1.

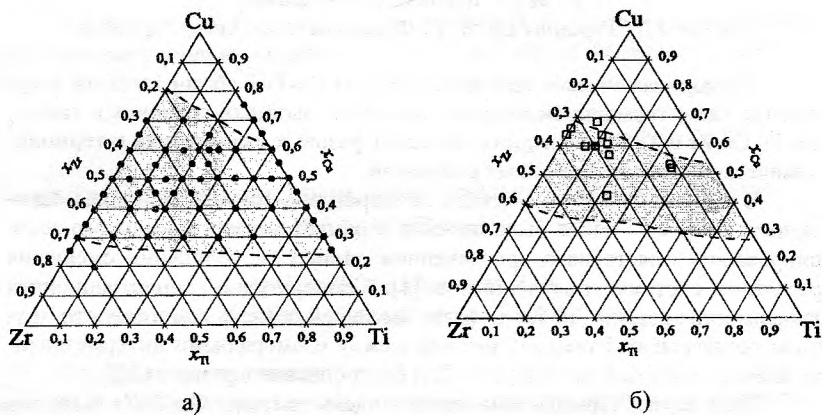


Рис. 1. Экспериментально установленные составы (показаны символами) [2, 3] и прогнозируемые концентрационные области (ограничены штриховыми линиями) получения быстрозакаленных (а) и объемных (б) аморфных сплавов в системе Cu–Ti–Zr.

Как видно из рисунка 1, прогнозируемые нами концентрационные области удовлетворительно согласуются с экспериментально установленными составами быстрозакаленных [2] и объемных [3] аморфных сплавов.

Возможность корректного прогнозирования концентрационных областей аморфизации объемных сплавов по положению метастабильной линии ликвидуса при температуре стеклования указывает на решающую роль термодинамических факторов в ходе её протекания и на вторичную роль кинетических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турчанин М. А., Агравал П. Г., Фесенко А. Н., Абдулов А. Р. // *Порошковая металлургия*. – 2005. – № 5/6. – С. 67–80.
2. Inoue A., Zhang W., Zhang T. and Kurosaka K. // *Acta Mater.* – 2001. – V. 49, N. 14. – P. 2645–2652.
3. Zhang Q. S., Zhang H. F., Deng Y. F., Ding B. Z. and Hu Z. Q. // *Scr. Mater.* – 2003. – V. 49, Issue 4. – P. 273–278.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАВНОВЕСНЫХ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ Cu-Ti-Zr

Агравал П. Г.¹, Древаль Л. А.¹, Абдулов А. Р.¹, Турчанин М. А.¹,
Великанова Т. Я.²

¹ ДГМА, г. Краматорск, Украина;

² ИПМ НАН Украины им. И. Н. Францевича, г. Киев, Украина)

Термодинамическое описание системы Cu-Ti-Zr базируется на полученных нами термодинамических описаниях двойных граничных систем Cu-Ti, Cu-Zr и Ti-Zr, последних данных о фазовых равновесиях и термодинамических свойствах тройных расплавов.

В рамках CALPHAD-метода температурно-концентрационная зависимость энергии Гиббса была описана в рамках модели идеального ассоциированного раствора с привлечением данных об энтальпии смешения расплавов системы, полученных в [1]. Температурно-концентрационная зависимость энергии Гиббса τ_1 -фазы, имеющей область гомогенности, и γ -фазы (непрерывный твердый раствор между изоморфными интерметаллическими соединениями CuTi_2 и CuZr_2) была описана в рамках CEF.

Полученная термодинамическая модель системы Cu-Ti-Zr была использована для расчета координат четырех-, трех- и двухфазных равновесий. На рисунке 1, а показана проекция поверхности ликвидуса. В соответствии с данными расчета температуры четырехфазных невариантных реакций оказываются ниже температур невариантных реакций с участием жидких сплавов в граничных системах. Температура плавления τ_1 -фазы составила 1146 К. Эта фаза имеет протяженную область первичной кристаллизации и принимает участие в семи невариантных реакциях с участием жидкой фазы. На рисунке 1, б представлены результаты расчета изотермического разреза системы при 1073 К.

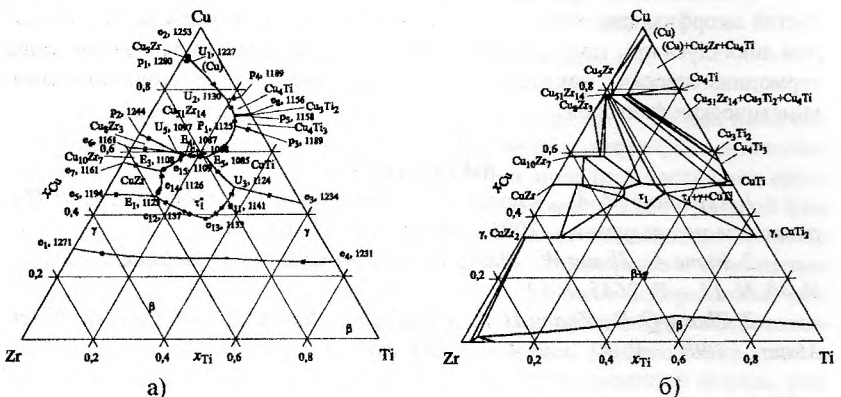


Рис. 1. Рассчитанные проекция поверхности ликвидуса в системе Cu-Ti-Zr (а) и изотермический разрез при 1073 К (б)

В рамках настоящего термодинамического описания удалось добиться согласия с экспериментальными данными об области гомогенности τ_1 -фазы и воспроизвести трехфазные области с участием фаз τ_1 , γ и двухкомпонентных интерметаллических соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулов А. Р., Турчанин М. А., Агравал П. Г., Солорев А. А. Энтальпия смещения жидких сплавов системы Cu-Ti-Zr // *Металлы*. – 2007. – № 1. – С. 28–34.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Алиева Л. И., Абакумов Я. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Совершенствование технологий металлообработки связано с существенным повышением размерной точности и качества продукции заготовительных технологических переделов. Это в современных условиях является также важнейшим резервом сбережения энергетических, материальных и трудовых ресурсов.

Среди перспективных процессов заготовительного производства значительное место занимает технология точной объемной штамповки. К этой технологии относят процессы получения заготовок (деталей, поковок), у которых размеры, форма и качество поверхностей максимально приближены к аналогичным параметрам готовой детали, вследствие чего нет необходимости в дальнейшей обработке заготовки со снятием стружки либо она сведена к минимуму.

Развитие аэрокосмической, электронной, автомобильной и других высокотехнологичных отраслей промышленности требует совершенствования процессов ОМД для получения деталей с малой массой, высокой прочностью и точностью, с малыми затратами средств и времени, отсутствием загрязнения окружающей среды, интеллектуализацией и оцифровыванием систем управления. Технологии формовки новых материалов и новых изделий требуют использования новых энергетических ресурсов, новых формирующих сред и новых способов нагружения и деформирования.

Технологические способы ТОШ выдавливанием отличаются многообразием возможностей и высокой эффективностью в сравнении с другими процессами формообразования деталей. Процессы выдавливания демонстрируют устойчивую тенденцию к увеличению объемов производства точных заготовок, расширению номенклатуры штампуемых деталей и материалов, подкреплению процессов формоизменения новыми разработками специализированного технологического оборудования и оснастки.

Ускорение и удешевление технологической подготовки производства и освоение новых технологий зависят от решения различных организационно-экономических вопросов, проблем экологии, использования групповых методов производства, создания специализированных производств, лабораторий и инженерных центров по выпуску точных заготовок. Информационному обеспечению технологии выдавливания способствуют работы, посвященные разработке методов проектирования и оптимизации технологических режимов и конструкций рабочего инструмента.

Основные направления или пути совершенствования: расширение области применения процессов ТОШ, повышение качества, производительности, экономичности, освоение новых видов изделий и материалов, обеспечение стабильности и надежности технологии, оснастки и оборудования.

Для получения штампованных изделий с заданным уровнем эксплуатационных свойств используются способы штамповки с управлением качеством путем назначения оптимальной программы деформирования заготовок, снижения неравномерности и локализации деформаций, устранения разрушений и отклонений формы деталей. Формирование свойств изделия связано с внешними кинематическими и силовыми воздействиями на заготовку и зависит от характера пластического течения и, соответственно, от преобладающей механической схемы деформации. Новые возможности в интенсификации процессов и создании требуемого вида деформаций, обеспечивающих наилучшую проработку структуры, открывают процессы комбинированного воздействия: осадки с) сдвигом, штамповки с кручением, некоторые нетрадиционные схемы штамповки с полезным использованием сил трения.

ОБРАЗОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

Бартель Г. П.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Современные модели строения жидких металлов в той или иной степени развивают представления Я. И. Френкеля о квазикристаллической структуре жидкости, единой общепризнанной модели в настоящее время не существует. Е. М. Лившиц и Л. Д. Ландау рассматривают в жидкой фазе два вида флуктуаций: *гомофазные флуктуации*, не имеющие поверхности раздела с окружающей их матричной фазой, и *гетерофазные флуктуации* (группировка атомов), отделенные от матричной фазы поверхностью раздела. Согласно модели Г. Стюарта отдельные группировки «сиботаксисы» с размерами 1–2 нм сохраняют упорядоченное расположение атомов, характерное для твердого металла, но не имеют постоянной формы, размеров и поверхности раздела. Центральная часть группировки отличается более упорядоченным строением, чем периферия, которая непрерывно

обменивается атомами с окружающей неупорядоченной жидкостью [1–3]. Для каждой температуры существует некоторое динамическое равновесие, которое позволяет установить среднестатистический размер группировок. Обычно это величины субмикроскопического порядка (по оценочным расчетам, выполненным Г. С. Ершовым и И. В. Гаврилиным, размер группировок составляет 2–5 нм, следовательно, в них входит от 500 до нескольких тысяч атомов). С повышением температуры количество и размеры группировок уменьшаются, а объем неупорядоченной жидкости быстро возрастает. Продолжительность «жизни» каждой группировки очень мала и вблизи температуры плавления составляет 10^{-7} – 10^{-8} с, она определяется интенсивностью теплового движения атомов и прочностью межатомной связи [4–5].

Исследователи по-разному трактуют и называют эти группировки. Чаще всего применяют термин «*кластер*». По-видимому, в расплаве возможно одновременное существование нескольких типов кластеров, соответствующих структуре фаз твердого металла. Так, в жидком железе (при перегреве на 30–40 К) обнаружены микрообласти с ближним порядком и структурой, подобной ОЦК и ГЦК, а в чугунах – группировки с ближним порядком и структурой типа ГЦК и Fe_3C .

В последующих работах И. В. Гаврилин для оценки агрегатного состояния вводит понятие динамической микронеоднородности как способа распределения вещества и пространства. В жидком состоянии вещество представлено кластерами, находящимися в состоянии непрерывных тепловых колебаний, а пространство – «областями межкластерных разрывов», которые в колебательном режиме возникают и исчезают при сближении и расхождении соседних кластеров. Межкластерные разрывы межатомных связей представляют узкие щели шириной до 1 ангстрема. Кластеры при плавлении не перемешиваются, так как их максимальное отклонение намного меньше размеров одного кластера. Количественные характеристики как вещественной, так и пространственной составляющих любого вещества влияют на их свойства в жидком состоянии и после затвердевания [6].

Сплавы отличаются от чистых металлов в жидком состоянии рядом характерных особенностей строения. Главная из них – *сохранение микронеоднородности химического состава при плавлении многофазных сплавов*, содержащих в структуре избыточные выделения неметаллических включений или эвтектики. Иначе говоря, в сплавах в жидком состоянии сохраняются микрообъемы с повышенной концентрацией одного или нескольких компонентов. Кроме того, может существовать субмикроскопическая неоднородность состава вследствие различной растворимости компонентов в кластерах и межкластерном объеме. С повышением температуры перепада концентрации выравнивается и сплав становится более однородным по химическому составу [7].

Микронеоднородность в жидком состоянии наиболее стойко сохраняется в сплавах эвтектического состава и близких к нему. В работах Е. П. Калинушкина показано существование как высокотемпературных,

так и низкотемпературных кластеров, что связано с влиянием химического состава сплава [8].

Другая важная особенность сплавов и металлов технической чистоты – наличие большого количества микроскопических и субмикроскопических частиц твердой фазы – в основном окислов, нитридов, сульфидов и интерметаллидов, а в чугунах – графита. По приближенным оценкам в 1 мм^3 жидкой стали содержится несколько миллионов твердых частиц. Таким образом, реальный жидкий сплав во многих случаях по существу является коллоидной системой, в которой дисперсная твердая фаза обладает чрезвычайно большой поверхностью раздела. При изменении внешних условий возможно либо дальнейшее диспергирование твердой фазы, либо коагуляция (слипание) отдельных частиц в более крупные конгломераты.

Для высоколегированных сталей и многокомпонентных сплавов процесс расплавления зависит от степени неравновесности структуры компонентов. Длительность или скорость нагрева легированной инструментальной стали накануне расплавления влияет на полноту насыщения границ зерен углеродом, снижение температуры «солидуса» и может оказывать влияние на строение расплава [9].

Этим фактором объясняется эффект аномальных проявлений в акустических сигналах и выделении тепла в процессе плавления при температурах ниже температуры «солидуса», замеченный авторами работы [10]. При увеличении длительности протекания диффузионных процессов увеличивается объем металла с повышенным содержанием углерода и имеющего более низкую температуру плавления, т. е. изменение концентрации углерода в расплаве приводит к понижению температуры «солидуса» и увеличению перегрева объема расплава. Такой локальный перегрев, связанный с диффузией углерода, можно назвать «концентрационным перегревом», по аналогии с «концентрационным переохлаждением» при кристаллизации. «Концентрационный перегрев» может создаваться при нагреве во всех сплавах с повышенным содержанием связанного в виде карбидов углерода и низкой теплопроводностью.

Таким образом, диссоциация части карбидов при температуре ниже $T_{\text{сол}}$ и диффузия углерода по границам аустенитного зерна приводят к насыщению пограничных объемов металла и понижению их температуры плавления в результате «концентрационного перегрева» по сравнению с марочным составом. Структурная неоднородность приводит к неоднородности в температурах плавления различных микрообъемов стали. При скоростных нагревах сплавов до температуры плавления возможно существование различных по составу и строению кластеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уббелоде А. Р. Плавление и кристаллическая структура. – М.: Мир, 1969. – 412 с.
2. Вилсон Д. Р. Структура жидких металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1972. – 247 с.

3. *Белащенко Д. К. Структура рідких і аморфних металів – 1985. – 192 с.*
4. *Арсеньев П. П., Коледов Л. А. Металеві розплави і їхні властивості. – 1976. – 376 с.*
5. *Ершов Г. С., Бычков В. М. Свойства металлургических расплавов и их взаимодействие в сталелитейных процессах. – М. : Металлургия, 1983. – 216 с.*
6. *Гаврилин И. В. Динамическая микронеоднородность в жидких литейных сплавах // Литейное производство. – 1996. – № 11. – С. 9–11.*
7. *Скребицов А. М. Разные представления авторов о разупорядочении кластеров металлического расплава // Процессы литья. – 2005. – № 3. – С. 3–10.*
8. *Синицина Ю. П., Калинушкін Є. П. Закономірності процесів, що відбуваються в розплаві, і їх вплив на структуроутворення алюмінієво-магнієвих сплавів // Металознавство та обробка металів. – 2006. – № 4. – С. 36–39.*
9. *Бартель Г. П. Структурный механизм плавления инструментальной стали // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 15–19. – № 3 (5). – ISBN 5-7763-0428-8.*
10. *Битюцкая Л. А., Машкина Е. С. Структурная и термодинамическая нестабильность при плавлении кристаллических веществ // Междунар. конф. «Современное материаловедение: Достижения и проблемы». 26–30 сентября 2005 г. – Киев : ООО ИНТЕМ. – С. 59–60.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

Бартель Г. П.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Литые заготовки традиционно используются ограничено для изготовления инструмента. Это связано с низкой ударной вязкостью литой стали, связанной с повышенной карбидной неоднородностью легированной стали, пониженной деформируемостью при горячей пластической деформации и нестабильностью эксплуатационных свойств готового инструмента. Тем не менее, литые режущие инструменты с успехом используются на ряде промышленных предприятий [1, 2], литые штампы для горячей пластической деформации показывают стойкость нередко выше, чем у кованных [3, 4], а вкладыши или вставки в штампы горячего деформирования обеспечивают в литом состоянии в два раза выше износостойкость, чем в катаном [5, 6].

Улучшение структуры и свойств литой инструментальной стали при этом достигается оптимальным легированием, модифицированием, ускорением охлаждения расплава при затвердевании, применением электрошлакового переплава, термической обработкой по специальным режимам и др. Однако для высоколегированных инструментальных сталей этот эффект недостаточен.

За рубежом (например, в США) уже давно применяют стали с пониженным содержанием вольфрама для изготовления фасонных литых режущих инструментов. При этом отмечается, что изготовление режущих инструментов методом литья, а не методом снятия стружки из проката быстрорежущей стали, дает экономию затрат порядка 50 % [7].

В процессе поиска экономически обоснованных марок инструментальной стали с пониженным содержанием дефицитных вольфрама и молибдена, исследователями предложен целый ряд экономнолегированных сталей для различных условий эксплуатации (РЛ1, РЛ2, ЭК41, ЭК42, РОМ5СТ, ДИ21, ДИ22, ДИ23 и т. д.). В этих марках стали карбидная неоднородность менее выражена, а применение оптимальных способов воздействия на расплав обеспечивает получение «разорванной» эвтектической сетки карбидов.

При наличии в литой структуре «разорванной» сетки эвтектических карбидов последующей термической обработкой возможно обеспечить высокие эксплуатационные свойства инструменту. Более того, нестабильность свойств литого инструмента с эвтектической сеткой указывает на имеющиеся резервы в повышении стойкости за счет термической обработки. Критерии контроля качества закалки и отпуска литого инструмента не обеспечивают термической обработкой стабильных режущих свойств. Это связано с тем, что контроль качества закалки по величине аустенитного зерна не эффективен для литой инструментальной стали, а контроль по твердости имеет низкую точность и воспроизводимость результатов.

Этих недостатков лишен метод контроля качества закалки по количеству остаточного аустенита, позволяющий оперативно реагировать не только на отклонения температурно-временных параметров термической обработки, но и на изменения в химическом составе литой заготовки различных плавок. С применением экспрессного метода контроля качества термической обработки по количеству остаточного аустенита [8] облегчается и задача ее оптимизации для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости литому инструменту.

В современных условиях экономически выгодно расширенное использование литых заготовок из экономнолегированной стали при производстве режущего и штампового инструмента. Однако имеющейся в литературе информации для этого недостаточно.

На кафедре технологии и оборудования литейного производства ДГМА развернуты работы по разработке и внедрению в производство технологии изготовления литого инструмента для различных условий эксплуатации (режущего, штампового горячего и холодного деформирования) [9–18].

Разработка и внедрение в производство технологии изготовления литого инструмента производится на хозяйственных условиях с выполнением следующих работ:

- анализ условий эксплуатации инструмента у заказчика;
- обоснование марки стали для обеспечения литому инструменту удовлетворительной стойкости;
- разработка технологии и проектирование оснастки для изготовления литейных форм;
- разработка технологии выплавки инструментальной стали (в том числе переплава отходов инструмента) у заказчика;
- разработка режимов термической обработки, методов и параметров контроля, обеспечивающих заданную стойкость инструменту.

Внедрение указанного комплекса работ обеспечивает заказчику высокий экономический эффект при изготовлении и эксплуатации литого инструмента различного назначения из инструментальной экономнолегированной стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Столбов В. Ф., Ксенофонтов Ю. В. Влияние состава быстрорежущей стали на работоспособность литого инструмента // *Технология машиностроения : научно-техн. реф. сборн.* — М. : НИИМаши, 1967. — № 11–12. — С. 40–42.
2. *Литые режущие инструменты : сб. стат. / под ред. И. А. Ревис.* — Л. : ЛДНТП, 1968. — 52 с.
3. Особенности термической обработки литой штамповой стали для горячего деформирования / Л. А. Позняк, В. И. Ульшин, В. З. Камалов [и др.] — 1987. — С. 35–40.
4. Казакова В. И., Борисов И. А. Современное состояние и тенденции развития штамповых сталей: обзор // *Технология, экономика, организация производства и управления.* — М. : ЦНИИТЭИтяжмаш, 1990. — Сер. 8, вып. 37. — С. 28.
5. Панов А. Г. Литые штампы для работы в условиях циклического температурно-силового нагружения // *Литейное производство.* — 1999. — № 8. — С. 20.
6. Хомяк Б. С. Пути повышения износостойкости прессового инструмента // *Технология, организация и экономика машиностроительного производства.* — М. : ВНИИТЭМР, 1986. — Вып. 8. — 68 с. — (Сер. 3. Кузнечно-прессовое машиностроение. Технология и оборудование.)
7. Berry J. T. Neue Erkenntnisse in der Behandlung von Schnellarbeitsstahl. *Techn. Mitt.* — 1971. — 64, № 1-2. — С. 37–49.
8. Ксенофонтов Л. Я. Неразрушающий контроль качества термической обработки инструмента по содержанию остаточного аустенита // *Разработка, производство и применение инструментальных материалов : тез. докл. V Респ. семинара.* — Киев : ИПМ АН УССР, 1987. — С. 28–30.

9. Бартель Г. П., Шистка В. В., Нагирняк О. О. Повышение стойкости и надежности литого режущего инструмента из быстрорежущей стали // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ : ДДМА, 2002. – С. 132–136.

10. Бартель Г. П., Тупчиенко В. И., Гумницький А. А. Влияние скорости охлаждения расплава в интервале затвердевания на структуру и свойства литого режущего инструмента // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*. – 2004. – № 6. – С. 35–38.

11. Бартель Г. П., Федоров Н. Н. Перспективная технология изготовления износостойкого литого штампового инструмента // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. II міжнародна науково-технічна конф., 1–3 червня 2004 р. : тези доповідей*. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – С. 113.

12. Пат. 63718 А Україна, МКИ C22C38/00. Литая штамповая сталь для горячеисаджувального инструмента / Бартель Г. П., Федоров Н. Н. – № 2003065097 ; заявл. 03.06.03 ; опубл. 15.01.04, Бюл. № 1. – 2 с.

13. Бартель Г. П., Тупчиенко В. И., Федоров Н. Н. Перспективная технология изготовления износостойкого литого инструмента для эксплуатации при повышенных давлениях и температуре // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. II міжнародна науково-технічна конф., 1–3 червня 2004 р. : тези доповідей*. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – С. 130.

14. Бартель Г. П., Дардесов А. А., Грибков А. П. Ресурсосберегающая технология изготовления заготовок крупного режущего инструмента // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. III міжнародна науково-технічна конф., 31 травня–3 червня 2005 р. : тези доповідей*. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 14.

15. Пат. 9103 У Україна, МКИ 7C22C38/00. Экономнолегована швидкорізальна сталь для литого инструмента / Бартель Г. П., Дардесов А. О. / № u200500040 ; заявлено 04.01.2005 ; опубл. 15.09.2005, Бюл. № 9.

16. Бартель Г. П., Манюк В. И. Прогрессивная технология получения качественных литых заготовок для инструмента // *IV міжнародна науково-технічна конф. «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», 5–8 червня 2006 р. : тези доповідей*. – Краматорськ : ДДМА. – 2006. – С. 8,

17. Бартель Г. П. Структурный механизм плавления инструментальной стали // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. – Краматорськ : ДДМА. – 2006. – № 3 (5). – С. 15–19.

18. Пат. на кор. мод. 20721 U Україна, МКИ B22D 15/00. Спосіб виготовлення зносостійкої штампової оснастки з високим градієнтом механічних властивостей / Бартель Г. П., Манюк В. И. – № u200607683 ; заявл. 10.07.2006 ; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ ИЗЛОЖНИЦ

Бартель Г. П., Емельяненко Е. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Разливку легированной стали для кузнечных слитков производят в чугунные изложницы, повышению стойкости которых посвящено большое количество работ исследователей [1]. Различие в коэффициентах термического расширения или сжатия чугуна и стали обеспечивает хорошую извлекаемость слитков после затвердевания. Однако при небольших дефектах поверхности изложницы в виде пор, раковин, микротрещин от термической усталости в процессе эксплуатации резко снижаются возможности извлечения затвердевших слитков. Применяемые на практике методы механического воздействия приводят к увеличению случаев разрушения изложниц.

Для повышения стойкости изложниц в периодической литературе рекомендуется оптимизация химического состава и способов выплавки чугуна [2], модифицирование расплава [3], температура заливки и условия кристаллизации [4], термоуравновешенные и высокостойкие конструкции изложниц, формирование алитированного слоя на рабочей поверхности изложниц для создания повышенной жаростойкости и разгаростойкости [5] и другие способы.

В данной работе для повышения стойкости чугунных изложниц за счет улучшения рабочей поверхности апробирована технология поверхностного легирования элементами, повышающими жаростойкость и термическую усталость в процессе изготовления отливок изложниц в форме.

В литературе имеется информация, что для изготовления стальных отливок деталей с высокой жаростойкостью поверхности в качестве наполнителя для легирующих покрытий, которые наносятся на рабочие поверхности форм и стержней, целесообразно использовать порошки алюминия, феррохрома, ферросилиция и ферротитана, различных марок, а также механические смеси на их основе в определенном соотношении компонентов. При изготовлении износостойких отливок лучшие результаты получены при использовании порошков высокоуглеродистого ферромарганца, чистого марганца и механических смесей таких компонентов: марганца, феррохрома высокоуглеродистого, ферротитана, ферробора и железного порошка в различных соотношениях.

Так, в работе [6] изучено влияние различных факторов на процессы образования легированного слоя на поверхности отливок: толщины легирующего покрытия, гранулометрического состава исходных компонентов, связующего, температуры металла основы перед заливкой его в формы, температуры плавления и растворения легирующего покрытия, восстановительной атмосферы в литейной форме и др.

Установлено, что для достижения на отливках жаростойкого слоя максимальной толщины необходимо использовать алюминий фракций 0315; 04; 063 или механическую смесь: 80 % ФХ650А + 20 % АІ; толщина

легированного слоя при этом достигается 4,5–5,0 мм, что вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к жаростойким отливкам.

Апробирована технология изготовления образцов чугунных отливок с использованием внутриформенного легирования из указанных выше порошков. Результаты апробации такой технологии показали перспективность ее использования при изготовлении изложниц. Установлены технологические параметры процессов поверхностного и внутриформенного легирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Справочник по чугунному литью* / под ред. Н. Г. Гиришовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1978. – 758 с.
2. Стец П. Д., Лесовой В. В., Бойко В. С., Гонда Е. М. и др. *Организация технологического процесса производства тяжелых слябовых изложниц в условиях ФСЛЦ Мариупольского меткомбината им. Ильича* // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – №2. – С. 39–43.
3. Лесовой В. В., Курганов В. А., Киселев Р. Е. и др. *Способы получения чугуна заданного химического состава для изложниц* // *Повышение стойкости изложниц*. – М. : Metallurgia, 1975. – № 3. – С. 23–31.
4. *Разработка технологии и организация производства сменного оборудования на комбинате* // *Литейное производство*. – 1995. – № 10.
5. Денисенко В. Н. *Исследование влияния природы доменных чугунов на термостойкость изложниц и свойства отливок из углеродистых и легированных сталей* / Отчет по НИР № X13–87. – Краматорск : КИИ, 1989. – 113 с.
6. Ямишинский М. М., Федоров Г. Е., Платонов Е. А., Кузьменко А. Е. *Технологические аспекты изготовления отливок с дифференцированными свойствами поверхности* // *Литейное производство: высококачественные отливки на основе эффективных технологий* : тез. докл., 2–4 июня 2004 г. – Киев : редакция журнала «Процессы литья» при участии МП «Информлитве». – С. 69–71.

ПРОИЗВОДСТВО ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ И СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Белобров К. Е., Белобров Е. А., Белобров Л. Е., Карпенкова О. Л.
(КНПП «Формовочные материалы Украины», г. Краматорск, Украина)

Разнообразие номенклатуры литья предполагает разнообразие противопригарных материалов и связующих для его производства, одним из главных производителей которых в Украине является КНПП «Формовочные материалы Украины» (г. Краматорск).

Все производимые предприятием противопопригарные покрытия – это результат наших изысканий, которые, прежде чем быть запущенными в производство, проходят основательную производственную проверку в действующих литейных цехах предприятий Донецкой и Днепропетровской областей.

Запуску противопопригарных покрытий в производство предшествует разработка и выпуск технологических регламентов, технических условий, а также согласование с СЭС с оформлением необходимых заключений, разрешающих применение противопопригарных покрытий и других материалов в литейном производстве.

Предприятие располагает лабораторией, производственными мощностями и инфраструктурой, позволяющими осуществлять в полном объеме технологические процессы и контролировать производимые материалы на предмет соответствия их параметров требованиям технологических регламентов, технических условий и государственных стандартов.

Предприятие осуществляет следующие виды деятельности:

1. Производство разнообразных противопопригарных покрытий для стального, чугунного, цветного литья, литья по газифицируемым моделям, вакуумно-пленочного процесса, кокильного литья.

2. Производство поливинилбутирального, поливинилбутирально-смоляного и смоляного (не содержащего поливинилбутираля) связующих для быстросохнущих противопопригарных покрытий.

3. Все виды научно-технических услуг по смесеприготовлению, изготовлению форм, стержней, упрочнению форм и стержней, покрытий, тепловой сушке, анализу брака литья и разработке мер по его устранению.

4. Проектно-технологические работы по смесеприготовлению, изготовлению форм, стержней, технико-экономические обоснования по этим вопросам.

5. Консультации по всем вопросам нашей специализации с выездом к заказчикам.

Наше предприятие производит и реализует 19 водных, 13 быстросохнущих противопопригарных покрытий и 3 разновидности спиртовых связующих. Среди водных покрытий 3 разновидности предназначены для производства отливок в кокиль и еще 3 для производства литья по газифицируемым моделям. Из 13 быстросохнущих покрытий одно (БПДС-М) предназначено для окрашивания форм вакуумно-пленочного процесса и полистироловых моделей.

Таким образом, мы производим и продаем 34 разнообразных материалов.

Реализация наших материалов сопровождается безвозмездной задачей потребителям подробных технологических инструкций или рекомендаций, в которых детально описано, как надо использовать данный продукт, чтобы получить ожидаемый результат.

Наши материалы характеризуются высокой технологической готовностью. В частности, для приведения в рабочее состояние водных противопригарных покрытий их достаточно растворить водой в определенном соотношении и вымешать в лопастной краскомешалке в течение одного часа.

Быстросохнущие противопригарные покрытия 13 наименований поставляются полностью готовыми к употреблению. Перед употреблением покрытия надо лишь размешать до однородного состояния и слить из бака в краскомешалку для поддержания его во взвешенном состоянии перемешиванием.

Из быстросохнущих покрытий весьма приемлемыми для производства отливок из марганцовистой стали являются магнетитовые и хромомагнетитовые покрытия.

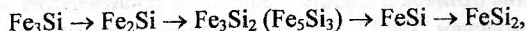
Потребителями производимых нами материалов являются 200 заводов Украины.

СТРУКТУРИЗАЦИЯ СПЛАВОВ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ЖИДКОМ И ТВЕРДОМ СОСТОЯНИЯХ

Белов Б. Ф.¹, Троцан А. И.¹, Бродецкий И. Л.¹, Харлашин П. П.²,
Паренчук И. В.³

(¹ ИПМ НАН Украины, г. Киев, Украина; ² ОАО «МК "Азовсталь"», г. Мариуполь; ³ ООО «Уникон», г. Донецк, Украина)

Сплавы ферросилиция широко используют в литейном производстве для раскисления, легирования и модифицирования стали и чугуна. Эффективность применения сплавов зависит от физико-химических свойств промежуточных фаз – интерметаллидов (силицидов железа), существующих на диаграмме состояний бинарной системы железо-кремний. Известная диаграмма системы Fe-Si, построенная по экспериментальным данным еще в начале прошлого века, относится к эвтектической системе с промежуточными химическими соединениями стехиометрического состава:

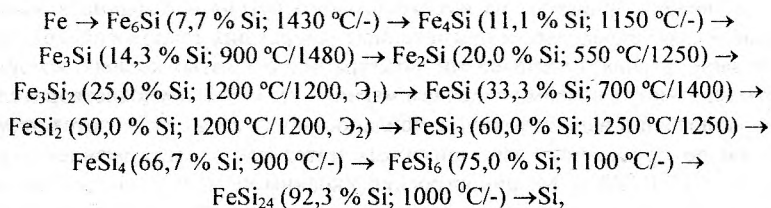


условия образования которых не изучены полностью до настоящего времени.

В связи с этим становится актуальной задача построения новой диаграммы Fe-Si с помощью разработанного авторами графо-аналитического метода, позволяющего выполнить анализ структурно-химического состояния (СХС-анализ) твердых и жидких исходных компонентов и промежуточных фаз во всем интервале концентраций. СХС-анализ силицидов железа включает определение химического и фазового состава, температуры

образования и плавления, области гомогенности твердых и жидких растворов, что позволяет выполнить оптимизацию марочного состава сплавов ферросилиция.

Полигональная диаграмма состояния системы железо-кремний включает две подсистемы Fe-Fe₂Si и Si-Fe₂Si, разделенные первичной промежуточной фазой Fe₂Si между исходными компонентами, содержащие вторичные промежуточные фазы, последовательный ряд которых имеет вид:



где первые цифры – концентрации кремния, вторые – температуры образования и плавления промежуточных фаз.

Промежуточные фазы образуются как в твердом, так и в жидком состояниях. На базе промежуточных фаз образуются твердые и жидкие растворы, области гомогенности которых на диаграмме ограничены прямыми линиями сольвуса – предельные растворимости твердых фаз и ликвуса – предельные растворимости жидких фаз. Твердые растворы в области гомогенности промежуточных фаз различаются как моноструктурные (М-состояния) и деструктурные (Д-состояния). М-состояния реализуются при нагреве до температур, превышающих точки образования промежуточных фаз и представляют собой однофазные непрерывные растворы в интервале концентраций, отвечающих составу пограничных фаз, тогда как Д-состояния реализуются при охлаждении от температур ниже точки образования промежуточных фаз в результате их распада на исходные компоненты, составляющие периодически повторяющиеся парные структурные элементы однофазного твердого раствора типа перлита для железоуглеродистых сплавов из структурных элементов феррита и цементита.

При классификации сплавов ферросилиция учитывается химический и фазовый состав, а также характер плавления силицидов железа. Термически стабильные сплавы являются сингулярными фазами, обладающими областью гомогенности в жидком и твердом состояниях, которым отвечают промышленные сорта ферросилиция только марки ФС20, а также сплавы ФС15 и ФС30 на базе интерметаллидов, существующих на полигональной диаграмме системы Fe-Si.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ
ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА
МАГНИЕВЫМИ ЛИГАТУРАМИ Fe-Si-Mg (ФСМг 7)
И Fe-Si-Ca-Mg (ЖКМК-4)**

Берчук Д. Н., Бубликов В. Б., Хохольков В. Н.
(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Уровень производства высокопрочного чугуна в Украине в значительной мере определяется применением устаревших технологий модифицирования расплава магниевыми лигатурами в открытых ковшах, которые характеризуются низким усвоением магния (30–35 %), неудовлетворительной экологией и недостаточной стабильностью. А также тормозится отсутствием по приемлемой цене шихтовых материалов с содержанием серы менее 0,015–0,020 %. Машиностроение Украины не может успешно развиваться без технологического переоснащения литейного производства, в том числе организации на современном уровне производства отливок из высокопрочного чугуна.

Важнейшую роль в получении высокопрочного чугуна играет процесс модифицирования. В результате модифицирования изменяются химический состав, строение, физико-химические свойства жидкого чугуна и создаются условия для формирования в процессе кристаллизации шаровидного графита. Развитие процессов модифицирования характеризуется тенденцией перехода от ковшевых к более эффективным, экологичным и экономичным методам модифицирования в проточных реакторах, в том числе расположенных непосредственно в литейных формах. Анализ тенденций развития свидетельствует, что наиболее перспективными являются поздние методы модифицирования в проточных реакторах, совмещенные с операцией заливки литейных форм. В результате сокращения до минимума интервала времени от модифицирования расплава до его кристаллизации позднее модифицирование обеспечивает более высокий уровень модифицирующего воздействия на структурообразование высокопрочного чугуна при значительно меньшем расходе модификатора.

Исследовали процессы внутриформенного модифицирования магниевыми лигатурами Fe-Si-Mg (ФСМг 7) и Fe-Si-Ca-Mg (ЖКМК-4). Расплав чугуна, модифицируемый в центробежном реакторе, расположенном в литейной форме, разделялся на дискретные пробы, расположенные последовательно во второй перемещающейся на тележке литейной форме. Установлено, что частицы модификатора ФСМг 7 под действием архимедовой силы и центробежного движения ускоренно вовлекаются в совместное с расплавом движение в виде жидко-твердой среды, в которой процессы тепло- и массопереноса максимально интенсифицированы. Взаимодействие модификатора ЖКМК-4 с расплавом чугуна проходит с образованием на поверхности плавящихся частиц шлаковой фазы, затрудняющей отделение частиц от засыпки и тормозящей обменные процессы. В связи

с указанными различиями в характере межфазного взаимодействия при внутриформенном модифицировании ФСМг 7 максимальное количество магния в чугун переходит в начальный период заливки, а при модифицировании ЖКМК-4 – в конце заливки.

Установлены закономерности влияния содержания магния в чугуне на его структуру и механические свойства при внутриформенном модифицировании ФСМг 7 и ЖКМК-4. Сформулированы рекомендации по применению исследованных модификаторов для внутриформенного модифицирования.

ГАЗОНАСЫЩЕННОСТЬ МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ САМОЗАЩИТНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Богуцкий А. А., Гринь А. Г.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Работоспособность наплавленного металла в условиях динамического нагружения существенно зависит от его газонасыщенности. Вопрос о ее снижении является особенно актуальным при наплавке открытой дугой порошковой проволокой.

Цель работы – исследование влияния газошлакообразующих и легирующих составляющих порошковых проволок на содержание газов в наплавленном металле.

В качестве шлакообразующих применялись следующие компоненты: рутиловый, перовскитовый концентраты, а также циркон, нефелин и вермикулит. Газообразующими являлись мрамор, сидерит, а также углекислый натрий, литий и барий.

Содержание газошлакообразующих в шихте наполнителя составляло 20 мас. %, а остальное составляли легирующие элементы: углерод, хром, молибден и ванадий, взятые в соотношении, обеспечивающем получение наплавленного металла типа 100Х4М5Ф2.

При исследовании влияния шлакообразующих материалов на газонасыщенность в качестве обязательных компонентов шлаковых основ применялись плавиковый шпат и мрамор. Остальные материалы поочередно вводились в эту бинарную шлаковую основу с таким изменением соотношения между компонентами, при котором обеспечиваются достаточно высокие сварочно-технологические свойства порошковых проволок.

Газообразующие компоненты вводились взамен мрамора при постоянном содержании плавикового шпата и рутилового концентрата в составе газошлакообразующей части наполнителя порошковой проволоки.

Результаты влияния шлакообразующих материалов на газонасыщенность наплавленного металла показали, что наименьшее количество газов содержится в металле, наплавленном самозащитными порошковыми проволоками, содержащими перовскитовый и рутиловый концентраты.

Анализ результатов влияния газообразующих материалов показал, что наименьшее количество азота и водорода наблюдалось при введении в состав проволоки углекислого лития. Содержание кислорода в наплавках с увеличением количества газообразующих составляющих в наполнителе проволоки возрастало в пределах 0,014–0,034 %.

Исследовались также безкарбонатные бинарные шлаковые системы на основе флюорита. Количество азота в наплавленном металле при этом изменялось на уровне 0,045–0,065 %, а количество кислорода и неметаллических включений получилось минимальным при использовании шлаковых систем «плавиковый шпат – перовскитовый концентрат» и «плавиковый шпат – рутиловый концентрат».

Влияние легирующих элементов на газонасыщенность наплавленного металла определялось при их дополнительном введении в наполнитель проволоки на основе рутилового концентрата взамен железного порошка.

Повышение содержания углерода положительно отражается на снижении концентрации азота и кислорода в наплавленном металле. Количество водорода при этом не изменяется.

С увеличением содержания в наплавленном металле хрома, молибдена и ванадия количество азота возрастает. На содержание кислорода и водорода увеличение количества этих элементов в наплавленном металле заметного влияния не оказывает.

Полученные данные о газонасыщенности наплавленного металла явились дополнительными факторами оптимизации состава шихты самозащитной порошковой проволоки для наплавки и восстановления холодновысадочного и режущего инструмента, полученного способом литья и работающего в условиях динамического нагружения.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ЧЕРЕЗ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Богущий А. А., Макаренко Н. А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При изготовлении холодновысадочного и металлорежущего инструмента перспективной является наплавка его рабочих поверхностей низколегированными быстрорежущими сталями. Легирование этих сталей азотом благоприятно влияет на структуру наплавленного металла и позволяет повысить его твердость, теплостойкость и износостойкость. При наплавке порошковой проволокой легирование наплавленного металла азотом может производиться из газовой фазы или путем введения азотированных ферросплавов в шихту порошковой проволоки. Возможно также сочетание этих способов.

При легировании наплавленного металла азотом из газовой фазы невозможно достигнуть его равновесной концентрации, что объясняется малой продолжительностью взаимодействия расплавленного металла ванны с азотом дугового промежутка. При данном способе легирования существует опасность появления пор в наплавленном металле, что является недопустимым при изготовлении режущего и штампового инструмента. При заданном уровне легирования стали поры не наблюдались при содержании азота до 0,06 % в наплавленном металле.

Получение безпористого металла при содержании азота 0,12% удалось получить при введении в шихту порошковой проволоки азотированных ферросплавов. Порошки хрома металлического и феррованадия азотировали в атмосфере очищенного азота при температуре 1000 °С с выдержкой два часа.

Для предотвращения пористости наплавленного металла, вызываемой водородом, в шихту порошковой проволоки вводили компоненты легко диссоциирующие в столбе сварочной дуги с образованием свободного фтора.

Азот в быстрорежущей стали является аналогом углерода. Он может образовывать нитридные фазы или растворяться в карбидах, заменяя в них углерод, создавать карбонитридные соединения. Поэтому введение его в сталь целесообразно в том случае, если в стали содержится пониженное количество углерода. Как показал рентгеноструктурный анализ, азот в низколегированной быстрорежущей молибденовой стали 100X4M5Ф2(Zr) не образует нитридной фазы, а, растворяясь в карбидах, образует карбонитриды. При этом азот способствует увеличению количества карбонитридной фазы. Как после отжига, так и после закалки количество карбидной фазы тем больше, чем больше азота в наплавленной стали. Зерно аустенита в стали с азотом менее склонно к росту, поэтому быстрорежущая сталь с азотом обладает более широким интервалом закалочных температур, а азотистый аустенит и мартенит – повышенной твердостью и теплостойкостью.

Исследование наплавленной стали 100X4M5Ф2(Zr) позволило сделать вывод, что азот усваивается сталью в количестве, не превышающем 0,12 %, и сохраняется в ней после всех операций металлургического передела. При увеличении содержания кислорода в наплавленном металле возрастает число и размеры оксидов, что снижает вязкость и сопротивление контактной усталости и затрудняет получение более чистой поверхности при шлифовании.

Для повышения контактной выносливости содержание кислорода в наплавленном металле снизили до 0,01 %. Это удалось добиться за счет снижения окислительного потенциала газошлакообразующей части сердечника порошковой проволоки.

Наплавленный металл 100X4M5Ф2(Zr), легированный азотом из газовой фазы и шихты порошковой проволоки, имеет твердость после двукратного отпуска HRC7 65,5 + 0,5.

Комбинированный способ легирования наплавленного металла азотом можно рекомендовать при изготовлении и восстановлении биметаллического инструмента.

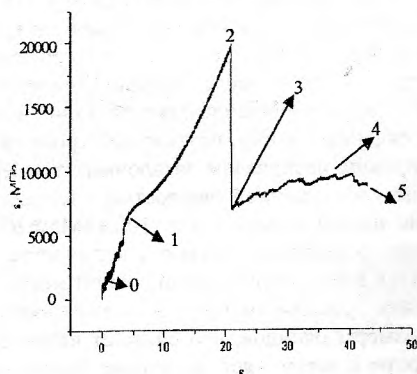
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ДИНАМІКИ ДЛЯ ІМІТАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ МОНОКРИСТАЛУ ТИТАНУ

Борисовська К. М.

(ІПМ ім. І. М. Францевича, м. Київ, Україна)

Розглянуті особливості формування кривих зміцнення титану при моделюванні розтягування нанозразка, що складається з 10 атомів у діаметрі та 60 атомів у довжину, у якому взаємодія між атомами розраховується за допомогою метода МД. Для побудови кривої навантаження ГПУ титану разом з В. В. Огородниковим та К. Малишевським було розроблено парний атомний потенціал титану, вигляд якого: $\varphi(r) = \varphi_0(1+a)\exp(-a)$, де $a = bx + cx^2 + dx^3$, а $x = \frac{r}{r_0} - 1$, r , r_0 – відстань та рівноважне положення атома. Параметри потенціалу $\varphi_0 = 0,3259$ еВ, $r_0 = 307,07$ пм, $b = 4,8750$, $c = 0,7867$, $d = 0,0130$ визначаються з розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Результати розрахунку кривої навантаження нанострижня титану вздовж напрямку $\langle 0001 \rangle$ наведені на рис. 1.



- Рис. 1. Крива «напруження-деформація» та структурні стани титану:
- (інтервал 0–1), пружна частина діаграми, що відповідає пружному переміщенню всіх атомів;
 - (інтервал 1–2), у цьому інтервалі через термічні флуктуації різні атоми ведуть себе по-різному: частина – пружно, частина – пластично;
 - (інтервал 2–3), іде лавиноподібна перебудова ґратки зі зміною симетрії кристала, це веде до різкого падіння деформувального напруження;
 - (інтервал 3–4), розширення області з новою кристалічною орієнтацією від центра до краю;
 - (інтервал 4–5), шийкоутворення та розділення зразка частини.

Результати розрахунків демонструють, що на атомному рівні в процесі деформації відбувається перебудова структури матеріалу, яка, в свою чергу, впливає на характер кривої зміцнення. Суттєвим є те, що на початкових ділянках деформаційного зміцнення (ділянка 1–2) пластична деформація відбувається за рахунок переміщення окремих атомів, при цьому сумарне напруження в кристалі збільшується з підвищенням ступеня деформації. Тільки після того як кількість таких атомів виявляється достатньо великою, відбувається локальний зсув атомів по всій площині, що приводить до глобальної перебудови, в результаті чого з'являється фрагмент нанокристала з кристичною ґраткою титана, який розорієнтований на кут 50° , що приводить до розміцнення нанозразка.

ФОРМИРОВАНИЕ ОТЛИВОК СО СЛОЖНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ПОЛОСТЯМИ, НЕ ТРЕБУЮЩИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Бондарь А. А., Капацिला Т. И., Бобкова Ю. С.
(ОНПУ, г. Одесса, Украина)

В современных условиях развития литейного производства наметилась тенденция к переводу части литья из области заготовительной базы машиностроения к производству готовых изделий, не требующих дополнительной механической обработки. Это особенно актуально при получении качественных полостей сложной формы в таких деталях, как поршни двигателей внутреннего сгорания, детали гидроаппаратуры и др. Так как изготовление сложных полостей механической обработкой встречает ряд трудностей из-за невозможности подведения резца к внутренним частям детали, то это вынуждает выполнять указанные детали сварными из двух или более частей. Что, в свою очередь, снижает технологические свойства готовых изделий и вызывает дополнительные финансовые и трудовые затраты.

Формирование сложных полостей при помощи песчаных стержней на основе различных связующих вызывает сложности, связанные, в основном, с трудоёмкостью удаления стержней из готового изделия и высокой шероховатостью внутренней поверхности отливки. Последний факт опять ставит вопрос о механической доводке деталей.

С другой стороны, применение легкоудаляемых стержней, которые обеспечивают низкую шероховатость, ограничено их нестабильными и невысокими физико-механическими свойствами.

Кроме того, при взаимодействии расплавленного металла с материалом легкоудаляемого (выплавляемого или вымываемого) стержня остаётся опасность нежелательных явлений на границе «стержень – заливаемый расплав». Например, в месте подвода металла может произойти частичный

или полный разрыв солекерамических стержней. Прессованные солекерамические стержни обладают повышенной пористостью, из-за чего металл отливки может проникать в поры таких стержней, ухудшая качество поверхности отливки. То же может произойти и в случае использования литых соляных стержней, которые склонны к трещинообразованию. Если температура плавления стержня значительно ниже температуры заливаемого металла, существует не только опасность изменения геометрии стержня, но и интенсификации диффузионных процессов на границе стержня и отливки. В результате этого металлические стержни могут привариваться к телу отливки, а солевые – насыщать её поверхность солью.

Эффективным способом предотвращения любых нежелательных контактов расплава с телом стержня являются защитные покрытия, которые наносятся на поверхность легкоплавких и легкорастворимых стержней тем или иным способом. Схема теплообмена в системе «расплав – покрытие – стержень» представлена на рис. 1.

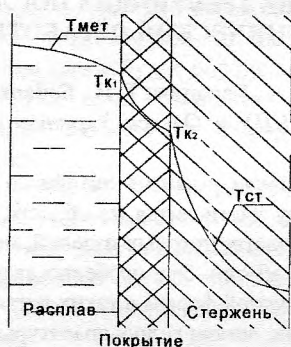


Рис. 1. Схема теплообмена в системе «расплав – покрытие – стержень».

Защитное покрытие при заливке первым контактирует с расплавленным металлом. Между ним и расплавом происходит интенсивный теплообмен. За счёт своих теплофизических свойств покрытие обеспечивает предохранение материала стержня от разрушающего действия тепла, идущего от отливки, до образования твёрдой корочки закристаллизовавшегося металла. Кроме того, защитное покрытие снижает вероятность разрыва солекерамических стержней.

Вывод: применение легкоудаляемых стержней с защитным покрытием позволяет изготавливать детали со сложными внутренними полостями высокого качества без механической обработки.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И ТВЁРДОСТЬ БЕЛОГО ЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА

Бредихин О. В.

(ИМетАУ, г. Днепрпетровск, Украина)

Современные металлурги и машиностроители предъявляют повышенные требования к оборудованию и материалам, работающим в условиях тяжёлых нагрузок. Оборудование должно быть многофункциональным, экономически привлекательным, технологичным и иметь высокую долговечность. Этим требованиям в большой степени удовлетворяют композиционные материалы, в которых каждый из компонентов выполняет определённые функции относительно структуры и свойств. К таким материалам следует отнести низко- и высоколегированные чугуны, в которых графит и специальные карбиды должны иметь требуемую форму, а матрица твердость. Отливки из белого легированного чугуна характеризуются высокими показателями физико-механических свойств, что обуславливает его широкое применение для деталей машин, работающих в условиях повышенных статических и динамических нагрузок, а также в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Целью настоящего исследования является изучение влияния содержания кремния, никеля, молибдена, меди и некоторых других на физико-механические свойства и структуру легированного чугуна.

Известно, что карбидообразующие элементы повышают твёрдость отбеленного слоя чугунов, уменьшая в нём количество графита. Растворяясь в аустените, эти элементы способствуют его распаду с образованием мартенсита, что также повышает твёрдость и износостойкость чугуна.

Легирование чугуна марганцем и никелем, а также хромом и молибденом способствует образованию мартенсито-карбидной структуры, при этом количество этой фазы зависит от содержания в чугуне углерода, что и обеспечивает его максимальную твердость.

Влияние кремния в изотермически обрабатываемых чугунах сводится к изменению температуры закалки с целью достижения максимальной плотности. Кроме того, кремний оказывает влияние и на прочность и твёрдость чугунов, способствуя превращению стабильного аустенита в мартенсит в процессе его закалки. Однако увеличение содержания кремния понижает прокаливаемость чугуна из-за снижения устойчивости аустенита в перлитной области. Это связано с уменьшением растворимости углерода в аустените, поэтому увеличение содержание кремния снижает твёрдость легированного чугуна.

При литье толстостенных заготовок, которые при закалке требуют высокой скорости охлаждения, необходимо увеличивать прокаливаемость путём дополнительного легирования. Для этого в чугун присаживают хром, молибден, никель и медь. Содержание хрома ограничивают, так как

он, являясь сильным карбидизатором, подавляет перлитное превращение. Молибден, никель и медь позволяют увеличить толщину отливок, которые могут быть подвергнуты изотермической закалке с целью получения перлита тонкого строения. При легировании чугуна количество молибдена определяют, учитывая толщину стенки отливки, так как при её увеличении уменьшается скорость охлаждения и снижается твёрдость.

Влияние содержания никеля, молибдена, меди и кремния на твёрдость легированного чугуна в зависимости от толщины стенок отливки представлено на рисунке 1.

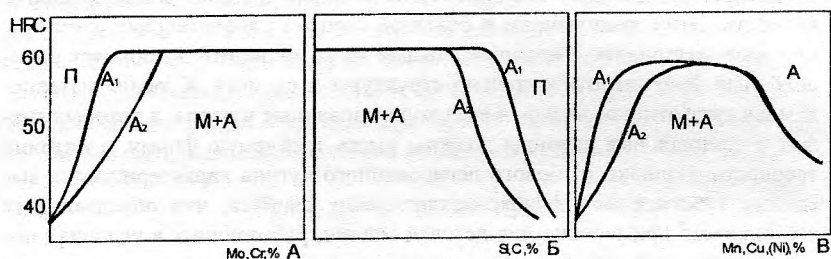


Рис. 1. Влияние легирующих элементов и толщины на структуру и твёрдость легированного чугуна после закалки: А – аустенит, М – мартенсит, П – продукты диффузионного распада аустенита.

Молибден и хром, увеличивая устойчивость аустенита в перлитной области, мало влияют на температуру мартенситного превращения, повышают прокаливаемость легированного чугуна. Для получения мартенситной структуры в массивных отливках (A_2) необходимо держать содержание молибдена в пределах 1,2–1,3 % и хрома – 12–14 %. Для тонкостенных отливок содержание молибдена должно быть в пределах 0,4–0,5 % (A_1 на рис. 1, А).

Легирование чугуна марганцем, медью и никелем сопровождается понижением твёрдости из-за повышенного содержания аустенита в матрице. Поэтому в отливках с малой толщиной стенки (A_1) для подавления перлитного превращения необходимо понизить содержание меди до 1 %, а никеля – до 2 % (A_2 на рис. 1, В).

Кремний и углерод, напротив, уменьшают прокаливаемость легированного чугуна. Поэтому их содержание в тонкостенных отливках (A_1) может на 1 % превышать содержание в массивных отливках (A_2 на рис. 1, Б).

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ

Бредихин В. Н., Кульбида Е. П.
(ДонНИПИЦМ, г. Донецк, Украина)

Жизненный цикл любого изделия, машины, аппарата заканчивается по причине их морального или физического износа. Лом (отходы потребления), в большинстве случаев, это сложное, многокомпонентное сырьё, при переработке которого требуются специальные технологические схемы и соответствующее аппаратурное оформление. При этом решаются не только технологические проблемы (получение качественных конечных продуктов) металлов и неметаллов, но и экологические, в первую очередь, решение проблем охраны окружающей среды. Основной операцией при подготовке лома является дробление его с целью получения механической смеси. Дробление алюминиевого лома не простая задача, т. к. его компоненты обладают диаметрально противоположными прочностными механическими характеристиками (вязкость, твёрдость, пластичность и др.). В ДонНИПИЦМ разработан технологический ряд дробильных агрегатов (фрагментаторов, дробилок) для алюминиевых отходов, имеющих различное физическое состояния. Затраты на подготовку шихты, в конечном счёте, значительно снижают как технологические, так и экологические проблемы в последующих операциях.

В настоящее время основными агрегатами для плавки алюминиевых отходов являются пламенные отражательные печи. Однако стремление сократить потери металла при переплаве шихты с развитой, загрязнённой поверхностью (лом, стружка, шлак и т. п.) и большое газообразование послужили основными причинами для разработки роторных печей с горизонтальной осью вращения, а в дальнейшем – и разработки роторных печей с наклонной осью вращения. Институтом разработан технологический ряд печных агрегатов роторных печей с горизонтальной и наклонной осью вращения, различной вместимостью в диапазоне 5–20 т по алюминию.

Использование роторных с наклонной осью печей сокращает расход флюса (соли) на 50 %, производительность печи увеличивается на 70 %, снижаются объёмы газовых выбросов в цех на 20–25 %, загрузочное окно увеличивается на 30–50 %, что позволяет загружать крупногабаритный лом, отсутствуют дополнительные выпускные окна для слива шлака. При переработке алюминиевого лома извлечение металла в готовую продукцию составляет 90–93 %, при этом загрязнение окружающей среды как твёрдыми, так и газообразными продуктами сокращается в 2–3 раза.

Для извлечения металлической составляющей из шлака, т. е. отделения оксидной части от металлической, необходимо проводить как можно быстрее после извлечения шлака из печи, т. к. извлеченный из печи шлак попадает в атмосферу, богатую кислородом, и при остывании (до 300 °С) в течение 5–10 мин. металлическая часть интенсивно переходит

в оксидную. При остывании шлака протекает неуправляемая химическая термитная реакция. Температура шлака повышается до 1500 °С, при этом кислород, азот и диоксид углерода образуют с алюминием оксиды, нитриды и карбиды алюминия. В процессе термитных реакций в шлаке сгорает порядка 1 % в минуту металлического алюминия.

Одной из последних разработок в технологии переработки алюминиевого лома является агрегат по обработке горячего шлака, который позволяет сократить содержание металла в шлаке с 50 % до 2–3 %. Возврат металла из шлака в процессе плавки является первостепенной задачей при металлургическом переделе.

Предложенная технология и комплекс оборудования внедрены на ряде предприятий стран СНГ и Украины и позволяют перерабатывать различного вида алюминиевые отходы.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ОСЕВОЙ ЗОНЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СТАЛИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ В Z-НАПРАВЛЕНИИ

Бродецкий И. Л., Троцан А. И., Белов Б. Ф.

(ИПМ НАН Украины, им. И. Н. Францевича, г. Киев, Украина)

Непрерывнолитые стали в ряде случаев отличаются аномально низкой пластичностью при разрушении в направлении толщины проката (Z-направление). Это объясняется наличием зоны осевой ликвации, которая, несмотря на незначительную толщину (до нескольких сот микрон), оказывает решающее влияние на механические свойства в связи с ее структурой и расположением относительно прикладываемых нагрузок. Толщина осевой зоны делает невозможным определение в ней механических характеристик металла, за исключением микротвердости. Исходя из изложенного, представляется целесообразной разработка способа для определения механических характеристик толстолистового проката при разрушении в Z-направлении отдельно для осевой зоны и основного металла.

Для разработки методики использовались ударные (ГОСТ 9454-78) и разрывные (ГОСТ 1497-73) образцы, вырезанные в Z-направлении из листов толщиной 58,5 мм ст.09Г2С и 17Г1СУ, обработанных при разливе на МНЛЗ порошковой проволокой, содержащей РЗМ и силикокальций в соотношении 1:1, что обеспечивало содержание в готовой стали 0,0024–0,0032 % Са и 0,008–0,010 % Се. Сдаточные испытания показали, что небольшой разброс значений σ_B , σ_T и δ позволяет получать усредненные результаты с приемлемым уровнем надежности. Значения же ψ_z и KCV_z колеблются в столь широких пределах, что достоверное определение их средних значений затруднительно. Это обусловлено как высокой

структурной чувствительностью данных характеристик, так и тем, что разрушение проходит частично по основному металлу, частично по осевой зоне, причем их соотношение меняется в широких пределах для каждого из испытываемых образцов.

Сущность предлагаемой методики состоит в следующем: на поверхности разрушения стандартных образцов, вырезанных в Z-направлении, после их испытаний на одноосное растяжение или ударный изгиб, методами оптической или электронной фрактографии измеряется доля площади излома, прошедшего через зону осевой ликвации, которая по внешнему виду легко отличается от разрушения по основному металлу. Затем в формате программы Microsoft Excel определяется графическая или аналитическая зависимость механической характеристики от доли площади разрушения, прошедшего по ликвационной зоне. Экстраполяция полученных уравнений типа $y = f(x)$, где x – доля площади излома, прошедшего по зоне осевой ликвации, y – значение соответствующей механической характеристики, позволяет определить структурно-чувствительные (ψ , KCV) механические свойства стали в Z-направлении (табл. 1) раздельно для металла в области осевой ликвации (при $x = 100\%$) и основного металла (при $x = 0$).

Таблица 1
Расчетные значения ψ_z и KCV_z зоны осевой ликвации и основного металла

Марка стали	Тип обработки	Механические свойства*	
		$\psi_z, \%$	$KCV_z^{-20}, \text{Дж/м}^2$
17Г1СУ	-	11,6 / 40,3	0,09 / 0,76
	SiCa + PЗМ	33,4 / 69,7	0,22 / 0,98
09Г2С	-	7,2 / 38,2	0,07 / 0,96
	SiCa + PЗМ	27,4 / 76,4	0,17 / 1,13

*числитель – для зоны осевой ликвации;
знаменатель – для основного металла.

Таким образом, показано, что осевая зона является наиболее ослабленным участком металла, а обработка церием и кальцием позволяет значительно повысить уровень ее структурно-чувствительных свойств (ψ_z и KCV_z). Предлагаемая методика может использоваться для оптимизации существующих и разработки новых технологий производства качественных непрерывно литых сталей для толстолистового проката.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Бубликов В. Б.

(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Ежегодный прирост объемов производства, интенсивное развитие сберегающих технологий, результаты научных исследований свидетельствуют о том, что в XXI столетии высокопрочный чугун станет одним из основных литейных конструкционных материалов и во многих отраслях техники будет успешно конкурировать с легкими, но менее технологичными и значительно более дорогими алюминиевыми сплавами. Дальнейшее повышение свойств высокопрочного чугуна, создание прогрессивных технологий, обеспечивающих повышение качества отливок при снижении их стоимости, будет происходить на основе развития научных представлений о строении реальных расплавов, их модифицировании, методах управления кристаллизацией, фазовыми превращениями, структурообразованием.

Важным этапом развития технологий высокопрочного чугуна явилось создание процессов модифицирования магниевыми лигатурами. В нашем институте созданы комплексные модификаторы, в состав которых, наряду с магнием и кремнием, входит также кальций (более 4–6 %), а для усиления модифицирующего эффекта дополнительно могут вводиться барий (3–9 %), РЗМ и другие модифицирующие элементы. Комплексные модификаторы благодаря высокой модифицирующей способности открыли дорогу высокопрочному чугуну в массовое и крупносерийное производство корпусных отливок для автомобилей, тракторов, сельхозмашин, компрессоров, насосов, военной техники и др.

В последнее время прогресс технологий высокопрочного чугуна базируется на развитии внековшовых поздних методов модифицирования расплава в литейных формах. При внутрiformенном модифицировании процесс изолируется от внешней атмосферы. В результате этого радикально улучшается экология: модифицирование протекает без пироэффекта и дыма. Позднее модифицирование устраняет присущую ковшовым методам проблему потери эффекта модифицирования в течение времени транспортирования и заливки металла в формы. Вследствие предельного сближения во времени процессов модифицирования и кристаллизации достигается в 2–3 раза более высокий уровень модифицирующего воздействия на структурообразование высокопрочного чугуна. Увеличивается количество центров эвтектической кристаллизации, интенсифицируется графитизация, что способствует предотвращению отбела тонкостенных отливок, уменьшению усадки, улучшению обрабатываемости резанием, повышению механических и служебных свойств. Высокая стабильность разработанных нашим институтом процессов внутрiformенного модифицирования подтверждается положительным опытом работы ряда литейных цехов, выпускающих отливки высокогерметичных корпусов, коленчатых валов, шестерен, кулачков, диафрагм, втулок, рычагов, кронштейнов, анкерных и др. из высокопрочного чугуна. Дальнейшее развитие высокоэффективных процессов модифицирования является базисом для разработки новых марок высокопрочных чугунов многофункционального и специального назначения с повышенным уровнем физико-механических и служебных свойств.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГРАФИТИЗИРОВАННОЙ СТАЛИ

Бубликов В. Б., Козак Д. С., Зеленая Л. А.
(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Графитизированная сталь является конструкционным материалом, обладающим высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Но классическая графитизированная сталь не получила широкого применения в промышленности из-за сложности получения высококачественных отливок и энергоёмкости процесса её производства. Традиционно графитизированную сталь получают при длительном высокотемпературном энергоёмком отжиге заэвтектоидной стали. В процессе отжига в структуре графитизированной стали формируются включения графита компактной формы в результате распада цементита, образовавшегося при кристаллизации отливок. Кристаллизация получаемых по такой технологии графитизированных сталей проходит без выделения графитной фазы, ограничивает область их применения деталями относительно простой конфигурации, такими как: подшипники, штампы, валки, фильеры и некоторые другие.

В работе изучено влияние графитизирующего и сфероидизирующего модифицирования на структурообразование заэвтектоидной стали, определены основные закономерности и характерные особенности влияния модифицирования ферросилицием ФС75, силикобарием СБ20, силикокальцием СК25, комплексными сфероидизирующими модификаторами ЖКМК-4Р, КМг-9 и лигатурой Fe63Ni30Mg7. Определены основные параметры модифицирования, содержание углерода, кремния и скорости охлаждения отливок, обеспечивающие кристаллизацию заэвтектоидной стали с шаровидным графитом по стабильному варианту диаграммы Fe-C-Si. Кристаллизация модифицированной стали проходит с образованием включений шаровидного графита, площадь которых составляет 3–4 % без образования структурно-свободного цементита.

Механические свойства литой заэвтектоидной стали с шаровидным графитом в литом состоянии: $\sigma_b = 660\text{--}680$ МПа, $\sigma_{0,2} = 520\text{--}540$ МПа, $\delta = 5\text{--}8\%$, КС = 15–35 Дж/см², 245–255 НВ, а после ферритизирующего отжига: $\sigma_b = 530\text{--}560$ МПа; $\sigma_{0,2} = 400\text{--}430$ МПа; $\delta = 20\text{--}24\%$; КС = 160–180 Дж/см²; 160–176 НВ. Ферритная сталь с шаровидным графитом отличается от традиционной графитизированной стали ферритного класса повышенными показателями прочности на 30 % и пластичности в 2,0–2,3 раза.

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ ВАЛКОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Будагьянц Н. А., Жижкина Н. А., Гутько Ю. И.
(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

Производительность прокатного стана и качество выпускаемой металлопродукции зависят от эксплуатационной стойкости и надежности валков. Получение формующего инструмента, одновременно стойкого к износу и поломкам, возможно благодаря методу двухслойного литья в стационарные формы, где для рабочего слоя применяют твердый и износостойкий материал, а для сердцевины – прочный и вязкий. Однако возросшие на мировом рынке объемы потребления металлопродукции, ужесточение требований к ее качеству обусловили необходимость повышения эксплуатационных свойств валков. Это обеспечивается путем использования высокоэффективных материалов и создания новой технологии производства.

Анализ применения новых технологий для производства валков [1] показал, что центробежный способ литья имеет ряд технологических, качественных, эксплуатационных и экономических преимуществ. Получен более высокий выход годного литья, экономия легирующих элементов. Обеспечиваются большие возможности в выборе материалов рабочего слоя и сердцевины с уровнем свойств, максимально отвечающих требованиям заказчиков. Центробежнолитые валки отличаются более однородной структурой, а, следовательно, равномерным уровнем эксплуатационных свойств, по сравнению со стационарнолитыми.

В зависимости от используемого оборудования иностранными фирмами разработаны различные способы центробежного литья валков. Разработке центробежного литья валков на Украине предшествовали большие поисковые экспериментальные и теоретические научно-исследовательские работы. Установлено, что при литье массивных заготовок наиболее эффективны машины с вертикальной осью вращения, а мелких – с горизонтальной. Большое внимание уделялось конструкции литейных форм. Были разработаны теплоизоляционные покрытия, установлены эффективные их величины для валков различных типоразмеров. Исследованы особенности кристаллизации валков из различных сплавов в условиях центробежного литья, на основе которых определены температурные и временные параметры процесса [2]. Результаты выполненных разработок показали, что расширить пределы продолжительности выдержки между заливками порций рабочего слоя и сердцевины, а также снизить вероятность появления несвариваемости позволяет применение флюсов [3]. На основе выполненных экспериментальных исследований был разработан технологический процесс получения двухслойных валков из разнородных сплавов, соответствующий экологическим показателям и современным требованиям к качеству и надежности прокатного инструмента [4].

Вследствие постоянно возрастающих требований потребителей к эксплуатационной стойкости формирующего инструмента научно-исследовательские и конструкторские работы по усовершенствованию технологии получения валков и разработке новых более эффективных материалов для их изготовления актуальны и будут представлены в последующих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будагьянц Н. А., Жижкина Н. А., Дяченко Ю. В. Пути повышения качества рабочего слоя в двухслойных прокатных валках // *Материалы ежегодной Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в машиностроении»* (Одесса, 2000). – К. : Ассоциация технологов и машиностроителей Украины, 2000 – С. 22–23.
2. Будагьянц Н. А., Жижкина Н. А. Исследование влияния технологических параметров на служебные свойства прокатных валков // *Технологические системы*. – 2001. – № 2. – С. 58–59.
3. Будагьянц Н. А., Жижкина Н. А. Обеспечение надежности свариваемости при литье двухслойных валков // *Теория и практика металлургии*. – 1999. – № 6. – С. 53–55.
4. Пат. 2148471 РФ, МКИ 7 В 22 D 13/02. Способ центробежного литья двухслойных прокатных валков с рабочим слоем из высоколегированного чугуна / Н. А. Будагьянц, В. И. Кондратенко, Ю. В. Дяченко, Н. А. Жижкина [и др.] (Украина). – № 98114937 ; заявл. 30.07.1998 ; опубл. 10.05.2000, Бюл. № 13. – 6 с.

ВЛИЯНИЕ Si, Sn И Al НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti-Dy

Буланова М. В., Фартушная Ю. В., Подрезов Ю. Н.
(ИПМ им И. Н. Францевича НАН Украины, г. Киев, Украина)

Нами ранее было показано [1], что легирование титана диспрозием позволяет получить эвтектическую структуру высокой дисперсности (размер зерен до 0,2 мкм) и, как следствие, комплекс высоких низкотемпературных механических свойств. Альтернативой металло-матричным сплавам с композиционным упрочнением являются сплавы с интерметаллидной матрицей. Среди наиболее перспективных интерметаллидов титана можно назвать Ti_3Al и $TiAl$. Подобно алюминию могут действовать элементы, которые образуют изоструктурные с Ti_3Al фазы Ti_3 (Sn, Ga, In). Самостоятельный интерес как основа жаропрочных сплавов может представлять система Ti-Sn, в которой присутствует высокотемпературная эвтектика $L \leftrightarrow \beta + Ti_3Sn$ (1600 °C), к тому же интерметаллид Ti_3Sn плавится конгруэнтно при высокой температуре (1670 °C). Поэтому от материалов

на основе этой системы можно ожидать сочетания жаропрочности и низкотемпературной пластичности. Таким образом, цель работы – изучить фазовые равновесия в тройных системах Ti-Dy-Si, Ti-Dy-Sn и Ti-Dy-Al, а также исследовать механические свойства сплавов.

Авторами [2] построено изотермическое сечение системы Ti-Dy-Si при температуре 927 °С. Нами изучены фазовые равновесия в системе Ti-Dy-Si (в области Ti-Ti₅Si₃-Dy₅Si₃-Dy) при кристаллизации [3]. Также нами изучены фазовые равновесия в системе Ti-Dy-Sn (в области Ti-Ti₅Sn₃-Dy₅Sn₃-Dy) при кристаллизации и при температурах 1400, 1200, 1100 и 900 °С [4]. Установлено существование тройного соединения в этой области, которое обладает некоторой областью гомогенности, а состав соединения может быть записан как Ti_{4,2-4,3}Dy_{0,8-0,7}Sn₋₃ [5]. Кристаллическая структура Т пока не установлена.

Механические свойства литых и отожженных при 1200 °С сплавов Ti-5Dy-Sn изучали на сжатие при 20 и 800 °С [4, 6]. Сплав с 5 % (ат.) Sn в отожженном состоянии демонстрирует высокую пластичность (25 %), однако низкую жаропрочность. Увеличение содержания олова (до 15 % (ат.) Sn) повышает жаропрочность как за счет твердорастворного упрочнения, так и за счет дисперсного упрочнения частицами фаз <Dy₅Sn₃> (5/3) и <Ti₃Sn> (α₂). Оптимальные механические свойства имеет сплав 80Ti-5Dy-15Sn в отожженном при 1200 °С 30 ч состоянии (σ_{0,2} = 440 МПа, ε = 15 %), который находится на границе фазовых областей <β-Ti> + 5/3 и <β-Ti> + 5/3 + α₂. Нами также были исследованы механические свойства сплавов двойной системы Ti-Sn, которые также демонстрируют максимум на границе фазовой области <β - Ti> и <β - Ti> + α₂. Кроме того, интерметаллид Ti₃Sn при незначительном дефиците атомов олова проявляет высокую пластичность при комнатной температуре (ε > 60 %) [7].

По системе Ti-Dy-Al опубликованы два изотермических сечения при температурах 500 °С [8] и 1000 °С [9]. Нами изучены фазовые равновесия в этой системе (в области Ti-TiAl-DyAl₂-Dy) при кристаллизации [10]. Проведены механические исследования на сжатие при 20 и 800 °С сплавов системы Ti-Dy-Al и для сравнения сплавов двойной системы Ti-Al, которые показали, что легирование сплавов системы Ti-Al диспрозием (5 % (ат.)) приводит к увеличению высоко- и низкотемпературной прочности, а также низкотемпературной пластичности. Оптимальные механические свойства демонстрирует сплав 85Ti-5Dy-10Al (σ_{0,2} = 300 МПа, ε = 18 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bulanova M., Podrezov Yu., Fartushnaya Yu. et al. *J. Alloys Compds.* – 2004. – 370, N. 1–2. – L. 10–13.
2. Morozkin A.V. *J. Alloys Compds.* – 2002. – 345, N. 1–2. – L. 155–157.
3. Fartushna Yu., Meleshevich K., Samelyuk A., Bulanova M. *J. Alloys Compds.*, in press.

4. Буланова М. В., Подрезов Ю. Н., Фартушина Ю. В. и др. *Теор. и прак. мет.* – 2006. – № 4–5. – С. 4–6.
5. Bulanova M., Fartushna Yu., Samelyuk A. *Proc. X Intern. Confer. Crystal Chem. Intern. Compds., Lviv.* – 2007. – № 33.
6. Буланова М. В., Подрезов Ю. Н., Фартушина Ю. В. и др. *Докл. НАНУ.* – 2007. – № 6. – С. 95–104.
7. Окунь И. Ю., Котко А. В., Фирстов С. А. и др. *Электрон. микроскоп. и прочн. матер.* – 2007. – № 17. – С. 12–19.
8. Huaiping Z., Jialin Y., Sui T. et al. *J. Alloys Compds.* – 2000. – 299, N. 1–2. – L. 232–234.
9. Zhang F., Yang Z., Ren L. et al. *Zhongguo Xitu Xuebao.* – 1996. – 14, N. 3. – L. 211–214, in Chinese.
10. Bulanova M., Podrezov Yu., Fartushna Yu. et al. *Proc. X Intern. Confer. Crystal Chem. Intern. Compds., Lviv.* – 2007. – № 32.

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ГАРНИСАЖНАЯ ПЛАВКА (ПДГП) ФЕРРОСПЛАВОВ И ЛИГАТУР

Бурнашев В. Р.

(ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина)

Большинство редких металлов характеризуются высокой химической активностью и тугоплавкостью. Поэтому для их выплавки и литья необходимы следующие условия: отсутствие взаимодействия с материалом тигля и компонентами воздуха, высокоинтенсивный источник нагрева, плавка в среде, исключаяющей взаимодействие с ней расплава. Появление большого количества отходов специальной техники предопределило перспективность применения плазменно-дуговой гарнисажной плавки в медном водоохлаждаемом тигле, которая обладает всеми вышеперечисленными свойствами для переработки таких отходов.

Переработка отходов специальной техники в различные ферросплавы и лигатуры представляется наиболее выгодным видом переработки по многим причинам. Во-первых, в этом случае возможна одностадийная переработка сложнелегированных сплавов в готовый продукт, потребность в котором в металлургической промышленности неизменно высока. Во-вторых, при производстве ферросплавов и лигатур могут быть снижены основные параметры процесса. Например, температуры, необходимые для производства ферровольфрама, ферромolibдена, феррониобия заметно ниже, чем для переплава соответствующих металлов.

В полупромышленном масштабе гарнисажная плавка тугоплавких металлов используется несколько десятков лет и по этой технологии получают фасонные отливки превосходного качества. Необходимое условие метода – сохранение тонкой защитной оболочки или гарнисажа

из застывшего на стенке тигля металла при дальнейшем ведении плавки. Толщина оболочки гарнисажа зависит от температуры плавления металла, его теплопроводности и степени перегрева расплава перед разливкой.

При гарнисажной плавке в медном водоохлаждаемом тигле металл можно поддерживать в жидком состоянии столько, сколько необходимо для его очистки без опасения загрязнять его примесями из тигля.

В условиях ПДГП возможно получение лигатур из металлов с различными физико-химическими свойствами, например, комплексные лигатуры на основе никеля с добавками гафния, церия, циркония, алюминия, иттрия или на основе алюминия с добавками гафния, циркония, церия. Качество и свойства ферросплавов и лигатур удовлетворяют требованиям производства.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ НЕОДНОРОДНОГО Al-Si РАСПЛАВА, В КОТОРОМ РЕАЛИЗУЕТСЯ МОНОТЕКТИЧЕСКОЕ РАССЛОЕНИЕ

Вейнов А. М.

(ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Заэвтектические силумины широко применяются в различных областях техники для изготовления деталей методом литья и порошковой металлургии. Эксплуатационные характеристики поршня в значительной степени определяются однородностью структуры и стабильностью свойств в различных сечениях отливки. Характерным недостатком литых изделий из заэвтектических Al-Si сплавов является неоднородность структуры в различных сечениях отливки, которая обусловлена сложным гетерогенным строением Al-Si расплавов. Природа расслоения Al-Si расплавов до конца не выяснена. Существующие методы гомогенизации расплава (перемешивание, обработка ультразвуком, электрическим током и т. д.) неэффективны. После прекращения воздействия на металл расплав снова становится гетерогенным.

Работа посвящена исследованию монотектического расслоения Al-Si расплава, которое реализуется при модифицировании силуминов гидроортофосфатами щелочных металлов (NaH_2PO_4 , Na_2HPO_4 и KH_2PO_4). Исследование монотектического расслоения расплава необходимо для разработки новых технологий, обеспечивающих формирование однородной структуры отливок, повышение и стабилизацию эксплуатационных характеристик сплавов.

Установлено, что монотектическое расслоение расплава на два несмешивающихся слоя жидких фаз Ж_1 и Ж_2 реализуется в домонотектических сплавах, содержащих 12,5 % Si–26 % Si. Верхняя критическая точка купола монотектического расслоения расплава соответствует 20 % Si

и температуре 880 °С. Сплав монотектического состава содержит 26 % Si. Монотектическое превращение реализуется в интервале температур 770 °С–590 °С в модифицированных NaH_2PO_4 сплавах, содержащих более 12,5 % Si.

При кристаллизации домотектических сплавов, содержащих 12,5 % Si–26 % Si, формируются две структурные зоны слитка с четкой границей раздела. Верхняя высококремнистая зона содержит 26 % Si, нижняя – 12,5 % Si. Между высококремнистой и низкокремнистой зонами слитка образуется усадочная раковина. Монотектическое превращение ($\text{Ж}_2 \leftrightarrow \text{Ж}_1 + \gamma\text{-Si}$) реализуется в верхней высококремнистой зоне слитка и сопровождается формированием монотектических кристаллов $\gamma\text{-Si}$ твердого раствора сферической формы.

Изотопный состав монотектических, эвтектических и первичных кристаллов твердого раствора на основе Si существенно отличается от природного (исходного) изотопного состава Si. Показано, что монотектическое превращение сопровождается эффективным фазовым разделением стабильных изотопов ^{28}Si , ^{29}Si и ^{30}Si между монотектическими кристаллами и жидкими фазами Ж_1 и Ж_2 .

Снижение концентрации тяжелых изотопов ^{30}Si в кристалле сопровождается ослаблением химической связи. Соответственно, низкое содержание ^{30}Si способствует расщеплению пластинчатого зародыша в процессе роста и формированию сферических кристаллов.

Экспериментальный поршневой сплав АК26МНэ, модифицированный NaH_2PO_4 , имеет однородную структуру, кристаллы твердого раствора на основе Si сферической формы и, как следствие, высокие и стабильные механические характеристики при комнатной и повышенных температурах.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ СТАБИЛЬНЫХ И МЕТАСТАБИЛЬНЫХ МАРГАНЦЕПОДОБНЫХ ФАЗ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Великанова Т. А.¹, Турчанин М. А.², Агравал П. Г.², Карпец М. В.¹
(¹ ИИМ НАН Украины им. И. Н. Францевича, г. Киев, Украина;
² ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В высоколегированных сталях наряду с бинарными карбидными упорочняющими фазами обнаружены промежуточные фазы с $\alpha\text{-Mn}$ и $\beta\text{-Mn}$ -подобными кристаллическими структурами, неизвестными в двойных составляющих системах. Настоящая работа посвящена выяснению природы этих фаз – условиям их образования в системах разной компонентности и относительной стабильности.

Структура сплавов Fe-Mo-C и Fe-Mo-Cr-C, полученных спиннингованием, исследована методами электронной микроскопии и высокотемпературного рентгеновского анализа.

Сделанные в работе выводы основаны на результатах совместного анализа собственных результатов и литературных данных о структуре сплавов в стабильном и метастабильном состоянии.

Метод термодинамического моделирования был использован для оценки относительной стабильности χ (α -Mn) и π (β -Mn) фаз в базовой двойной системе Fe-Mo. Моделирование фазовых равновесий выполнено с использованием CALPHAD-метода. Для описания термодинамических свойств χ -фазы нами была адаптирована модель трех подрешеток $(Fe)_{24} : (Mo)_{10} : (Fe, Mo)_{24}$, которая была предложена в работе [1]. Для моделирования свободной энергии π -фазы нами была адаптирована модель трех подрешеток $(Fe)_{24} : (Fe, Mo)_{20} : (Mo)_{12}$, которая была предложена в работе [2].

Результаты расчета метастабильных превращений с участием переохлажденной жидкости и π - и χ -фаз показывают, что наибольшую термодинамическую стабильность демонстрирует π -фаза, обогащенная молибденом. В отличие от нее, χ -фаза наиболее устойчива в области сплавов, богатых железом. Результаты расчета совместной метастабильной кристаллизации π - и χ -фазы из переохлажденной жидкости показывают, что в таких условиях χ -фаза образуется перитектически при температуре 1331 °C.

Результаты расчета фазовых превращений с участием этих фаз и π - и χ -фаз показывают, что в этих условиях π -фаза появляется и в присутствии твердых растворов на основе чистых компонентов. π -фаза в данных условиях имеет область первичной кристаллизации. χ -фаза в присутствии растворов на основе чистых компонентов оказывается не стабильной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersson J.-O. // *Met Trans.* – 1988. – V. 19A. – P. 1385-1394.
2. Frisk K. // *TRITA-MAC.* – 1990. – 428.

ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНЫХ СВОЙСТВ НА ФОРМУ ГРАФИТОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧУГУНА

Верховлюк А. М., Шумихин В. С.
(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Изучение вопросов, связанных с образованием шаровидного графита, имеет существенное значение для разработки технологических процессов получения высококачественных чугунов. Несмотря на интенсивное развитие практических аспектов рассматриваемой проблемы, многие принципиальные моменты остаются до сих пор неясными. Так, влияние

межфазных свойств на форму графитных включений в чугунах изучалась в большом количестве работ, однако однозначных заключений по вопросу механизма роста включений не имеется.

В связи с этим в работе систематически исследовано влияние Mg, Ca, Ba, Al, Mn, Mo, Cr, Zr, V, B, P, S, температуры на контактные углы смачивания, работу адгезии и на рост включений графита в системе железоуглеродистый расплав – базисная и призматическая грани графита. Эксперименты показали, что для чистого Fe-C расплава и расплавов, содержащих даже малые количества серы, контактные углы смачивания и работа адгезии на базисной плоскости выше, чем на призматической. Добавки модифицирующих элементов меняют эти характеристики на обратные.

Полученные результаты по межфазному взаимодействию различных элементов на форму включений графита в железоуглеродистых расплавах представлены в виде корреляционной зависимости между разностью углов смачивания базисной и призматической граней подложки из пирографита и аналогичной величиной работы адгезии. Общий вывод, который можно сделать: для образования шаровидных включений графита работа адгезии на базисной плоскости должна быть больше, чем на призматической. Сформулированное условие является необходимым, но не достаточным.

Показано, что в немодифицированных расплавах рост кристаллов графита происходит в кинетическом режиме, то есть малое значение имеет кристаллографическая ориентация растущего кристалла. Основным условием получения включений графита в шаровидной форме является обеспечение преимущественного роста базисных граней графита, что достигается путем рафинирования расплава по кислороду, сере, другим поверхностно активным элементам и адсорбцией модификаторов на призматических гранях графитного включения. При этом разность значений работ адгезии на базисной и призматической плоскостях графита становится положительной, а рост включений осуществляется в диффузионном режиме.

Что касается влияния скорости охлаждения на образование шаровидного графита, то в общем виде можно сформулировать так: увеличение скорости охлаждения облегчает получение графитных включений шаровидной формы. Экспериментально установлено, что при ускоренном охлаждении (10 К/с) и на базисной, и на призматической поверхностях подложки преимущественный рост графита происходит на базисной плоскости. Толщина слоев, образовавшихся на базисной и призматической поверхностях подложки, в обычных условиях и в атмосфере гелия примерно одинакова. Это свидетельствует о том, что в данном случае суммировалось положительное влияние ускоренного охлаждения и отсутствия кислорода. Кроме того, при ускоренном охлаждении, в отличие от медленного, кристаллография подложки не существенно влияет на ориентацию осаждаемых атомов углерода. Включения первичного графита в матрице становятся компактными, уменьшается соотношение толщины кристаллов к их длине, появляются включения шаровидного графита.

СПОСОБ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА В ФУТЕРОВАННОМ ТИГЛЕ

Власов А. Ф., Богущкий А. А., Дубовик Ю. А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

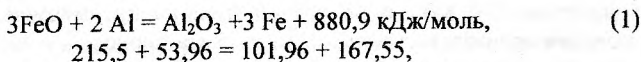
Существующие электрошлаковые процессы (электрошлаковая сварка, электрошлаковый переплав, электрошлаковое литьё) осуществляются на твердом или жидком старте. При твердом старте расплавление рабочего флюса, наведение шлаковой ванны необходимого объема осуществляются в дуговом режиме. Данный способ характеризуется нестабильностью (частыми короткими замыканиями), неравномерным и длительным расплавлением флюса (низкой производительностью).

Электрошлаковое литьё крупных заготовок осуществляется на печах бифилярного или трехфазного типа с использованием жидкого старта путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в нижнюю часть кристаллизатора (при электрошлаковом переплаве) или тигля (при электрошлаковом кокильном литье). Однако трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса во флюсоплавильных печах значительно выше, по сравнению с твердым стартом.

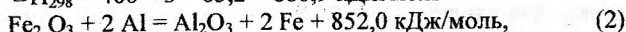
Целью настоящей работы является повышение производительности электрошлакового процесса и повышение стойкости тигля путем применения экзотермических металлофлюсовых смесей, проводящих электрический ток в твердом состоянии и представляющих собой механическую смесь окалины, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов или порошков и рабочего флюса (АНФ-6 или др.)

Проведенные в ДГМА исследования позволили разработать способ электрошлакового переплава в футерованном тигле [1]. Способ позволяет повысить производительность процесса в 1,4 раза, а стойкость тигля – в 2 раза, увеличить выход годного металла за счет восстановленного из окалины железа при протекании экзотермических реакций.

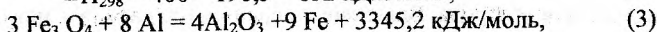
При взаимодействии алюминия с окислами железа протекают следующие экзотермические реакции:



$$215,5 + 53,96 = 101,96 + 167,55,$$
$$79,98 \% + 20,02 \% \rightarrow 37,83 \% + 62,17 \%,$$
$$\Delta H_{298} = 400 - 3 * 63,2 = 880,9 \text{ кДж/моль}$$



$$159,70 + 53,96 = 101,96 + 111,70,$$
$$4,25 \% + 25,25 \% \rightarrow 47,72 \% + 52,28 \%,$$
$$\Delta H_{298} = 400 - 196,5 = 852 \text{ кДж/моль},$$



$$694,65 + 215,84 = 407,84 + 502,65,$$
$$76,29 \% + 23,71 \% \rightarrow 44,79 \% + 55,21 \%,$$
$$\Delta H_{298} = 400 * 4 - 3 * 267 = 3345,2 \text{ кДж/моль}.$$

Из сравнения результатов реакций (1)–(3) следует:

- для протекания экзотермических реакций (1 и 2) требуется соответственно наименьшее и наибольшее количество алюминия;
- наибольшее количество железа восстанавливается при использовании закиси железа;
- наибольшее количество тепла выделяется при взаимодействии алюминия с окисью железа, а наименьшее – с закисью железа;
- промежуточное положение по количеству восстановленного железа и выделяемого тепла занимает окись закись железа Fe_3O_4 .

Окалина на машиностроительных заводах является отходом кузнечно-прессового производства, содержит 58–63 % FeO , 31–36 % ($Fe_2O_3 + Fe_3O_4$) и позволяет эффективно использовать эффекты вышеприведенных трех реакций.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КАЧЕСТВО И ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЛИТЫХ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЗАО «НКМЗ»

Волокита В. Я.

(ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Производство машин, соответствующих мировым стандартам, невозможно без применения качественных литых заготовок для производства собственных новых машин ЗАО «НКМЗ».

Для выхода на мировой рынок требуется техническое перевооружение литейного производства с применением передовых технологий. Комплексная программа внедрения новых технологий в базовый технологический процесс производства отливок явилась производной от главной стратегии НКМЗ — выход в ранг ведущих машиностроительных фирм мира. Итогом планомерных усилий заводчан в первые 5 лет технического перевооружения сталелитейного комплекса стало создание и внедрение технологий и оборудования, не уступающих тем, которыми располагают многие зарубежные фирмы-аналоги: Sidemec canica (Италия), ŠKODA (Чехия), Jinan (Китай), MAN (Польша).

Изложены субъективные причины длительного применения ПГС в единичном производстве отливок на НКМЗ.

Для достижения уровня качества литья, присущего ведущим фирмам отрасли, на НКМЗ в 2003 г. в цехе ФЛЦ-1 был установлен смеситель модели COMBIMIX DF 2042 фирмы FAT. Этот агрегат предназначен для изготовления крупных форм и стержней с применением регенерированных хромитовых и кварцевых песков. Кроме того, была введена в строй

установка регенерации фирмы GUT, которая не только восстанавливает свойства отработанных формовочных материалов, но и позволяет отделить кварцевый песок от хромитового.

Выполнен анализ применения передовых техпроцессов для изготовления отливок единичного производства и разработано направление действий.

Разработана новая концепция технического перевооружения литейного производства на 2008–2010 гг. Это позволит полностью перейти на изготовление стальных отливок с применением ХТС и смесителей непрерывного действия фирмы FAT производительностью 20–42 т/ч и созданием нового комплекса регенерации мощностью 15 т/ч. Предусматривается механизация процесса очистки с приобретением зачистной машины «Андромат», создания дробеочистной установки для отливок массой до 120 т.

Представлены уникальные отливки, изготовленные по фуран-процессу.

Капитальные вложения в литейное производство в 2008–2010 гг. составят более 70 млн. грн.

СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЬЯ С ВЫХОДОМ ГОДНОГО БОЛЕЕ 70 %

Городчиков В. Н.

(ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

В последнее время резко возросли требования к качеству отливок. Литейщики стоят перед необходимостью производства высококачественных отливок, но, тем не менее, производство их должно быть экономичным. Поэтому экспериментальные отливки для индивидуального или мелкосерийного производства перед их массовым выпуском считаются затратными.

Мировой уровень выхода годного по стальному литью составляет 66–75 %, что достигается применением теплоизоляции для прибылей и экзотермических смесей (эта технология охватывает до 70 % литья).

Опыт таких предприятий как «ШКОДА-ПЛЬЗЕНЬ» и ряда других, внедривших технологию и оборудование изготовления крупного стального литья по фуран-процессу, показывает целесообразность применения этих смесей и вставок из них не только с точки зрения повышения КВГ, но и с точки зрения удобства при формовке. При ограниченной живучести химически твердеющих смесей очень важно иметь готовые элементы, которые устанавливаются на модель в заданных технологией местах и которые необходимо только засыпать смесью и уплотнить.

На нашем предприятии также внедрена технология изготовления крупного стального литья по фуран-процессу, что позволяет достичь уровня технологии ведущих зарубежных фирм, выпускающих аналогичную продукцию.

В настоящее время в мировой практике широко применяются экзотермические смеси и вставки из этих смесей, имеющие различную конфигурацию, зависящие от размера прибыли. Для крупного стального литья применяется сочетание экзотермических смесей с теплоизолирующими изделиями.

Проводимая работа по достижению поставленной задачи состоит из двух частей, причём опережающей является теоретическая часть, по результатам которой идёт внедрение новых элементов технологии.

Главной задачей проводимой НИР является получение возможности управления кристаллизацией отливки, для чего необходимо применять определенные технологические приемы, такие как: наружные холодильники, теплоизолирующие и теплоаккумулирующие материалы.

Всего за полгода в рамках этой работы достигнута величина КВГ 65,0 %. Причём на отливках серийной номенклатуры она составляет величину 67–70 %.

Новая технология потребовала изменения оснастки, так как вместо пяти прибылей теперь используется девять. В настоящее время изготовлена партия опок и поддонов для изготовления серийной продукции. Новая оснастка также позволила снизить трудоёмкость изготовления за счёт исключения нижнего ряда стержней.

С 1 кв. 2009 года планируется весь цех перевести на технологию получения отливок в формах из фурановых смесей.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИКВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕЙСЯ СТАЛЬНОЙ ОТЛИВКЕ

Гресс А. В.

(ДГТУ, г. Днепропетровск, Украина)

Практически все служебные характеристики металла связаны с процессом его кристаллизации и предопределяются, в первую очередь, явлением макропериодичности распределения примесей в закристаллизовавшейся отливке. Степень ликвации примесей в отливке зависит от скорости передвижения ликватов по двухфазной зоне (ДФЗ) и интенсивности конвективных потоков металла в жидком ядре слитка. Поскольку физическое моделирование процессов ликвации примесей чрезвычайно сложно и трудоемко ввиду высокой агрессивности и непрозрачности моделируемых сред, чаще всего для их изучения используют методы математического моделирования.

С целью исследования процесса ликвации растворенных в металле примесей нами при разработке математической модели учитывалось наличие в кристаллизующемся сплаве нескольких видов микрообластей с различным химическим составом (с повышенным содержанием серы, углерода и т. п.). Факт наличия в сплаве таких микронеоднородностей подтвержден работами Г. Н. Еланского, В. А. Кудрина, В. И. Явойского, К. С. Филиппова, В. М. Галкина, П. С. Харлашина и др. Микрообласти отделены друг от друга слоем относительно чистого от примесей расплава и взаимодействуют друг с другом согласно законам межатомных химических взаимодействий. По мере кристаллизации расплава микрообласти, обогащенные примесями, перемещаются в пространстве ДФЗ в результате капиллярного эффекта. Освободившуюся область между дендритами занимает маточный расплав. Различная скорость перемещения ликватов и характер их распределения по сечению слитка объясняется движением в междендритном пространстве ДФЗ соответствующих микрообластей, отличающихся друг от друга физическими свойствами (плотностью, поверхностным натяжением на границе кристалл – жидкость и т. п.), которые, в свою очередь, зависят от энергии межатомного взаимодействия примесей и матрицы.

Для расчета процесса ликвации примесей при кристаллизации крупной стальной отливки, получаемой в условиях МНЛЗ, использовалась разработанная нами адекватная реальному процессу двухмерная численная модель, которая может работать в режиме «советчика технолога».

На основе анализа результатов моделирования на разработанной математической модели тепломассообменных и термомеханических процессов при кристаллизации сплавов установлено, что распределение примесей, температуры, доли твердой фазы и термонапряжений в пространстве и времени существования ДФЗ не стабильно и носит волнообразный, а не плавный характер, и, как и степени ликвации, расхождения экстремумов концентраций примесей в готовом слитке, скорости перемещения примесей по ДФЗ зависит, главным образом, от химического состава стали, сечения заготовки и интенсивности конвективных потоков в жидкой сердцевине слитка. Количественная оценка динамики распределения примесей по ДФЗ позволяет научно-обоснованно определять технологические параметры разливки стали для получения непрерывнолитой заготовки с минимальным развитием ликвационных явлений.

С помощью разработанной математической модели тепломассообменных процессов при кристаллизации стали определено, что проникновение регулируемых конвективных потоков металла в зону выливаемости ДФЗ в течение промежутка времени затвердевания, соответствующего времени существования в зоне выливаемости положительной ликвации, способствует уменьшению ликвационных явлений в готовой заготовке. Показано, что это позволяет научно-обоснованно определять время и место наложения на формирующуюся заготовку внешних воздействий.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА МАКРОСТРУКТУРУ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ СЛИТКА

Гресс А. В., Кобзева А. И.
(ДГТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

Проблема качества металлического слитка в настоящее время является особо актуальной задачей, поскольку об экономическом статусе страны судят по объему производства в ней качественной металлопродукции. Качество же изделий, главным образом, определяется их макроструктурой.

В настоящее время общепризнано, что дальнейшее улучшение качества металлопродукции с помощью классического оборудования практически невозможно, поэтому все более часто используют различные способы внешнего воздействия на расплав. Особенно важное значение это приобретает с точки зрения решения задачи нахождения достаточно недорогих, но, в то же время, эффективных мер воздействия на кристаллизующийся металл с целью получения мелкозернистой макроструктуры отливки.

Для решения задачи использовали методы физического моделирования. На основании аналитического обзора литературных данных определено, что одним из наиболее эффективных способов влияния на кристаллизующийся расплав является наложение электрических полей. В качестве рабочей среды, моделирующей процесс кристаллизации металла, был использован тиосульфат натрия, помещенный в плоский прозрачный водоохлаждаемый кристаллизатор. В ходе экспериментов на расплав воздействовали электрическим током различной полярности, частоты и силы. По окончании затвердевания полученную макроструктуру фиксировали на цифровую фотокамеру с последующей обработкой на ПК. Время полной кристаллизации определяли по динамике изменения температуры расплава.

Силу постоянного тока различной полярности, подаваемого на кристаллизующийся расплав, изменяли в диапазоне 0–300 мА. Для изучения влияния полярности подаваемого постоянного тока на макроструктуру отливки электроды на первом этапе экспериментов располагали у стенок модели симметрично ее оси. Установлено, что у электрода с отрицательной полярностью преимущественное развитие получали столбчатые кристаллы. При смене полярности электродов картина в кристаллизаторе зеркально менялась.

Поскольку отливка должна обладать мелкозернистой структурой, дальнейшие эксперименты проводили с подачей на центральный электрод, расположенный по оси модели, тока положительной полярности (обратная полярность). На кристаллизатор же подавали отрицательный потенциал. Найдено, что при подаче тока силой 15–100 мА создавались условия для формирования мелкозернистой структуры с узкой зоной столбчатых и широкой зоной равноосных кристаллов. Постепенное увеличение силы

тока до 150 мА и выше приводило к преимущественному образованию крупнозернистой структуры и широкой зоны столбчатых кристаллов. Зона равноосных кристаллов по мере роста силы тока имела тенденцию к уменьшению и при 300 мА практически отсутствовала. Влияние силы тока на параметры корковой зоны обнаружено не было. Время кристаллизации отливок при наложении положительного потенциала на центральный электрод несколько увеличивалось по сравнению с вариантом подачи прямой полярности.

Подача на кристаллизующийся расплав токов переменной частоты, соответствующих частоте естественных токов, зафиксированных при затвердевании отливки, позволила существенно уменьшить мощность накладываемого электрического тока при получении в отливке мелкозернистой структуры и ускорении кристаллизации расплава.

Предполагается, что положительное влияние накладываемого на кристаллизующийся расплав постоянного тока связано с разрушением двойного электрического слоя на границе «жидкость – кристалл», а при наложении на расплав переменных токов – с разрушением микрогруппировок атомов, передвигающихся в пространстве между дендритами двухфазной зоны.

ПЕРЕРАБОТКА АЛЮМИНИЕВОЙ СТРУЖКИ В СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ

Гнатушенко А. В., Биктагиров Ф. К., Шаповалов В. А., Игнатов А. П.
(ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина)

Вовлечению в оборот вторичных ресурсов, в том числе лома и отходов алюминия и его сплавов, уделяется особое внимание. Среди алюминиевых отходов значительную долю составляет стружка. Переплав стружки в наиболее распространенных для плавки алюминия отражательных и индукционных печах характеризуется значительными потерями на угар. Кроме того, металл загрязняется водородом и неметаллическими включениями и зачастую требуется дополнительное его рафинирование.

Одними из наиболее распространенных алюминиевых сплавов являются поршневые сплавы системы Al-Si-Cu, в частности АК12М2МгН (АЛ25). Полное использование стружки данного сплава для изготовления поршней, в том числе ввиду наличия в нем таких дорогостоящих легирующих, как медь и никель, экономически привлекательно. Особенно если осуществлять переработку стружки непосредственно вблизи мест ее скопления без значительных транспортных расходов.

В этой связи для переработки алюминиевой стружки может быть использована технология ее переplava в расплавленных солях, подогреваемых за счет прохождения через жидкий солевой слой электрического тока.

Суть технологии заключается в следующем. В футерованной огнеупорным материалом емкости (тигле) с помощью токоподводов, подключенных к источнику питания (трансформатору), из хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов наводится солевая ванна, которую, по аналогии с другими процессами, где осуществляется нагрев расплава выделяемым в нем джоулевым теплом, можно называть флюсовой или шлаковой ванной. В перегретый до нужной температуры солевой (флюсовой) расплав сверху постепенно подается алюминиевая стружка, которая погружается в солевую ванну и плавится в ней, скапливаясь в жидком виде в нижней части тигля. По мере необходимости алюминий периодически сливается в литейную форму через летку. Достоинством данной технологии является то, что стружка плавится без контакта с окружающей атмосферой, что позволяет до минимума свести потери металла на окисление и угар. А возможность в широких пределах варьировать составом и температурой солевой ванны обеспечивает эффективное рафинирование металла от газов и неметаллической составляющей, в том числе оксидной пленки. Оборудование для реализации данной технологии отличается простотой в управлении и обслуживании, оно компактно и требует сравнительно небольших капитальных затрат.

Применительно к переработке в солевых расплавах алюминиевого сплава АЛ25 было определено, что при использовании сухой стружки потери на угар не превышают 3–5 %. Химический состав получаемого металла соответствует исходному за исключением магния. Введение в состав флюса в определенном количестве магнийсодержащих компонентов позволяет не только исключить потери магния, но и долегировать сплав этим элементом непосредственно из солевой ванны. Для рассматриваемого вида плавки в печи с диаметром плавильного пространства 400 мм производительность в зависимости от вида стружки (мелкая, средняя, крупная) составляет от 70 до 100 кг/ч при расходе электроэнергии 400–500 кВт/ч на тонну переплавляемого металла. Расход флюса при плавке стружки, незагрязненной смазочно-охлаждающей жидкостью, составляет 10–15 % от массы металла. Полученный при плавке по рассматриваемой технологии металл на изломе имеет мелкокристаллическую структуру, в то время как после переплава той же стружки в индукционной печи для излома характерно крупнокристаллическое строение. Это является следствием более низкого в первом случае содержания в сплаве АЛ25 газов и неметаллических включений. Так, содержание водорода в металле при плавке в солевой ванне не превышает $0,45 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, что в 2–3 раза ниже, чем при традиционной плавке.

Таким образом, по своим технико-экономическим и металлургическим показателям переработка алюминиевой стружки в солевых расплавах может быть эффективной для получения качественных алюминиевых заготовок.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПЛЕКСНОЛЕГИРОВАННОГО МЕДНОГО ШВА ПО ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ

Гринь А. Г., Свиридов А. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При сварке меди наряду с необходимостью обеспечения высоких показателей теплопроводности и электропроводности металла сварных швов возникает требование снижения в нём растворимости кислорода, так как он существенно ухудшает стойкость швов против образования пор, горячих трещин. Как известно, для связывания кислорода в металл шва на медной основе должны быть введены активные раскислители (Zr, Ce, La, Ti, Al, Mn, Si). Активность раскислителя можно оценить по величине его остаточной концентрации в металле при данной температуре, необходимой для получения определенной степени раскисления меди.

$$[\% \text{Cu}_2\text{O}] * [\% \text{Me}]^n = f(T).$$

Целью настоящей работы является, оптимизация состава комплекснолегированного металла шва по газонасыщенности, выполненного ранее разработанной пресованной порошковой проволокой для сварки меди.

Для исследования влияния Al, Ti, Zr, Mn, Si на содержание $[\text{H}_2]_{\text{диф}}$, $[\text{H}_2]_{\text{ост}}$, $[\text{O}_2]$ строились регрессионные уравнения 2-го порядка с помощью квазиньютоновского метода – зависимость функции отклика (результаты эксперимента) Y_i от независимых переменных (факторов) X_i :

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_3 + b_6x_3^2 + b_7x_4 + b_8x_4^2 + b_9x_5 + b_{10}x_5^2,$$

где $b_0 \dots b_{10}$ – коэффициенты уравнения регрессии;

X_i – фактор влияния (X_1 – Al, X_2 – Ti, X_3 – Zr, X_4 – Mn, X_5 – Si);

Y_i – результат эксперимента (Y_1 – $[\text{H}_2]_{\text{диф}}$, Y_2 – $[\text{H}_2]_{\text{ост}}$, Y_3 – $[\text{O}_2]$).

Расчеты уравнений регрессии были произведены в программном пакете Statistika 6.0.

В результате математического анализа были получены зависимости влияния каждого из исследуемых элементов на газонасыщенность металла шва. Построены полиномиальные кривые 2-го порядка, отражающие характер влияния каждого фактора на газонасыщенность. Коэффициент корреляции во всех случаях был близок 1, что соответствует адекватности математической модели. Адекватность модели проверялась с помощью критерия Фишера, по контрольным точкам в интересующей области факторного пространства. Для получения оптимальных свойств комплексно легированного металла шва применялся метод решение систем нелинейных уравнений.

Для выполнения оптимизации использовали следующие условия:
- содержание элементов раскислителей в составе порошковой проволоки, для обеспечения ними минимальной газонасыщенности металла шва должно находиться в пределах:

$$0 \leq \text{Al} \leq 14 \% ; 0 \leq \text{Ti} \leq 6 \% ; 0 \leq \text{Zr} \leq 3 \% ; 0 \leq \text{Mn} \leq 3 \% ; 0 \leq \text{Si} \leq 3 \% ;$$

- предел газонасыщенности металла шва, при котором не образуются поры:

$$0,2 \leq [\text{H}_2]_{\text{лиф}} \leq 2,82 \text{ см}^3/100\text{г}, 4,2 \leq [\text{H}_2]_{\text{ост}} \leq 13,5 \text{ см}^3/100\text{г}, \\ 0,0012 \leq [\text{O}_2] \leq 0,0085\%.$$

Исходя из этого, в качестве оптимального состава порошковой проволоки для подготовки крупки, служащей исходным материалом для изготовления прессованной порошковой проволоки, был выбран следующий состав: алюминиевый порошок – 11 %, титановый порошок – 6 %, цирконий – 1 %, медный порошок – 19 %, марганец – 4 %, кремний – 9 %, CaF_2 – 15 %, Na_2SiF_6 – 35 %. Опытной проволокой были сварены образцы для определения содержания газов в металле шва.

Решение математической модели и последующая экспериментальная проверка позволили установить, что оптимальное содержание газов в металле сварного шва ($[\text{H}_2]_{\text{сум}}$, $[\text{O}_2]$, $[\text{N}_2]$) обеспечиваются при комплексном легировании его алюминием – 0,77 %, титаном – 0,48 %, цирконием – 0,09 %, марганцем – 1,3 %, кремнием – 1,63 %.

К РАСЧЕТУ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Гулько И. И.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В последнее время широкое распространение получил способ производства отливок в формах из холоднотвердеющих смесей (ХТС). Удачный выбор смесителя зависит от множества технологических параметров и условий, оптимальное сочетание которых трудно определить без использования ЭВМ. Автоматизированное проектирование позволяет упорядочить имеющуюся обширную информацию по данной теме в соответствии с логической схемой построения объекта и системной связью между элементами решаемой задачи.

Целью работы является теоретическое обоснование расчета конструктивных параметров лопаток смесителя ХТС для создания методики автоматизированного расчета смесителя с определённой последовательностью решения задач и переходом к объемному проектированию рассматриваемого объекта.

В ранних работах авторами были объяснены алгоритмы расчета конструктивных параметров смесительной камеры и вала, но автоматизированный подход к расчету смесителя требует обоснований и оптимизации нахождения габаритных размеров всех элементов смесителя, в том числе лопаток, установленных по форме винта на валу.

Воспользуемся известными теориями для обоснования механизма перемешивания песчинок с катализатором и отвердителем лопастями в рукаве смесителя. Для этого представим захватываемую порцию смеси в виде треугольника с отношением высоты к основанию 1:10, хотя более подробный анализ показывает, что объем формовочной смеси, находящийся на валу смесителя в поле центробежных сил, получает более сложное очертание свободной поверхности, описываемое дифференциальным уравнением.

Поиск более простую логическую форму определения порции смеси, захватываемую лопаткой. При повышенных частотах вращения смешивающего вала формовочная или стержневая смесь в желобе смесителя находится в псевдосжиженном состоянии. Предположим, что мгновенная форма порции смеси будет определяться углом естественного откоса материала (этот угол составляет величину порядка 30° , при этом не учитывается влияние на форму пакета центробежных и инерционных нагрузок).

Далее объясним методику автоматизированного конструирования вида и габаритов лопатки в зависимости от изменяющихся нагрузок. Найдем окружное усилие и массу пакета смеси, находящегося на лопатке смесителя. Для вычисления объема пакета смеси на лопатке разобьем пространственную фигуру пакета на три более простые (половину конуса и две трапеции) и вычислим объем каждого геометрического тела в отдельности. Определим удельное давление лопатки на смесь, с учетом веса смеси. На основании данных о размерах лопатки определим её площадь, разбивая, как и прежде, площадь лопатки на две фигуры (полукруг и равнобокую трапецию) и найдем таким образом площадь лопатки в целом.

Наконец, определим удельное давление $p_{уд}$. Теперь подберем оптимальный угол поворота лопаток смесителя для обеспечения условия не разрушения частиц смеси и исследуем зависимость удельного давления на смесь от угла поворота лопаток с помощью пакета Excel. Из диаграммы можно подобрать в зависимости от величины удельного давления оптимальный угол поворота лопаток.

Итак, составлена методика расчета предельно допустимых значений частоты вращения вала и угла наклона лопаток из условия неразрушения зерен песка. Таким образом, используя предлагаемый подход, можно перейти к автоматизированному проектированию лопаток смесителя.

ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ГОЛОВОК

Гулько И. И., Порожня С. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Для реальной возможности создания системы автоматизированного проектирования литейных машин из большого многообразия современных критериев оценки проектного объекта принята оценка машины по критериям надежности, а система автоматизированного проектирования (САПР) взята в качестве метода конструирования объекта.

Автоматизированное проектирование формовочной машины предусматривает постепенное выполнения всех этапов получения компьютерных чертежей. Построение 3D-модели импульсных головок низкого и высокого давления осуществляется по разработанной программе, которая была выполнена с применением языка Microsoft Visual Basic, а также пакета Autodesk Inventor 7.0 – для построения готовых элементов машины.

Исходными данными для данной программы служат габариты опок и производительность. Программа осуществляет обработку и расчет основных параметров импульсной головки. После расчета параметров импульсной головки программа выдает рекомендации относительно компоновки машины (тупикового или проходного типа и т. д.), конструкции механизма протяжки модели, рабочего давления уплотнения (высокого или низкого) и т. д. Далее идет обращение к базе данных готовых элементов, из которой, в зависимости от рассчитанных параметров и выданных рекомендаций, выбирается 3D-модель оборудования, дополнительные компоненты, и демонстрируется схема работы оборудования. Одновременно с этим из 3D-версии оборудования моделируется 2D-версия, которая выводится в окно программы в качестве гиперссылки. Работа программы основана на специально разработанных алгоритмах, которые используются для построения трехмерных рабочих моделей узлов формовочной машины в зависимости от их расчетов по общепринятым формулам.

Обработка необходимых математических расчетов и логических операций выполняется в специальных электронных таблицах с использованием пакета Excel. Автоматическое трехмерное проектирование и построение двухмерных чертежей выполняется в программе Solid Works. Работа в пакете объемного проектирования (SW) существенным образом отличается от обычных программ для автоматизированного проектирования и представляет собой параметрическую программу создания трехмерной модели тела, состоящего из элементов. Наиболее важное свойство Solid Works состоит в том, что выполненные технические расчеты в пакете Excel создают математические взаимосвязи между размерами модели, используя имена размеров как переменные элементы в уравнениях. Это позволяет автоматически изменять размеры 3D-моделей при изменениях параметров расчета.

После проведения по оригинальным компьютерным программам расчетов конструктивных параметров импульсных головок с помощью переходных программ осуществляется выход к вычерчиванию в пакете Solid Works эскизов головок. Затем в пакете Solid Works выполняется детализация представленной сборочной единицы, строится объемное изображение формовочного блока с импульсной головкой низкого давления, с механизмами подачи оснастки, дозированной засыпкой смеси, протяжкой модели.

Таким образом, разработанный комплекс программ позволяет осуществлять автоматизированное проектирование импульсных головок низкого и высокого давления формовочной машины с получением их 3D-моделей и компьютерных чертежей.

ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФОРМОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Гунько И. И., Порохня С. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Известно, что для построения оптимальной конструкции машины необходимо проводить критический литературный анализ, результатом которого будет появление новой рациональной схемы машины. Пути усовершенствования могут быть самыми разнообразными, например, с использованием известных компьютерных пакетов STATISTICA, EXCEL.

Целью данной работы является усовершенствование импульсной машины через оптимизацию наиболее нагруженной части конструкции машины – колонны. Для этого (после составления расчетной схемы машины) на основании статистических данных определены числовые показатели габаритных размеров проектируемого объекта, сделаны основные выводы о его надежности, характере распределения нагрузок, выработаны рекомендации по оптимизации расчетных параметров. Дальнейшие расчеты выполнялись на ЭВМ с помощью пакета программ «STATISTICA».

В данной работе разработана методика на примере расчета колонны импульсной машины типа «труба», «прямоугольник» и «швеллер».

Основная часть работы – это построение трехмерных графиков сечений колонны разного типа с целью определения опасных областей по прочностным характеристикам. Создание расчетных таблиц и построение линейных графиков является частью методики работы в названном пакете. Важно для расчетов выбрать нужную математическую модель, которая наиболее полно выдавала бы необходимые данные для построения графиков – это условие работоспособности конструкции:

$$\sigma_n \geq [\sigma]_n, \quad \sigma_n = \frac{23006850}{W \cdot n},$$

где σ_n – предел прочности на изгиб выбранного материала колонны;

W – момент сопротивления сечения колонны;

n – количество колонн в данной машине.

По формулам определяли изгибающий момент, результаты заносили в таблицы. Затем строились графики, на которые наносились линии тренда, отображающие тенденции данных, и прогнозировались их дальнейшие изменения. Используя регрессионный анализ, можно продлить линию тренда в диаграмме за пределы реальных данных для предсказания будущих значений. В итоге получали график, отображающий изменения значений по двум измерениям в виде поверхности. Этот график позволяет провести анализ и определить оптимальную конструкцию колонны формочной машины.

Таким образом, в результате расчёта выявили общую закономерность для всех разновидностей колонн – при увеличении размеров и количества их напряжения изгиба падают. Определен оптимальный вариант по каждому виду колонн. Далее произведён сравнительный анализ выбранных вариантов. Для чего построены графики – зависимости напряжений изгиба от моментов сопротивления для каждого вида колонн. Из которых следует, что наибольшей жёсткостью обладают колонны, выполненные из швеллера, меньшей – прямоугольного сечения и наименее жёсткие колонны, выполненные из труб. Становится ясно, что наиболее оптимальным вариантом будет установка колонн типа швеллер. Кроме того, необходимо учитывать количество колонн. Изменив его, можно получить более дешёвую и надёжную конструкцию.

Таким образом, разработанная методика позволяет выполнить оптимизацию конструкции колонн импульсной машины быстро и надёжно.

ВАЛКОВЫЙ СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ СМЕСЕЙ

Гулько И. И., Яковлев А. В., Порохня С. В.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В последнее время наблюдается обновление парка смесеприготовительного оборудования. На смену катковым смесителям, длительное время работающим в литейных цехах, приходят новые смесители роторного, плужкового и вибрационного типов. Ведется интенсивная работа по созданию новых конструкций. Оценка их работоспособности всегда производится в сравнении с катковыми смесителями, хотя смеси, приготовленные в катковых смесителях, имеют самую низкую газопроницаемость и прочность смеси, что может быть объяснено недостаточным разрыхлением и гомогенизацией смеси и образованием недостаточно прочных глинистых оболочек в процессе смесеприготовления. В современных условиях возникает потребность в высокопроизводительных смесителях.

Целью исследований было создание смесителя, который должен обеспечивать за короткий цикл смесеприготовления при минимальном потреблении энергии выход качественной формовочной и стержневой смесей. По этой причине разработали экспериментальную модель бескаткового центробежного смесителя (за основу взят центробежный смеситель с горизонтальными катками). Катки были заменены валками, а для большего разрыхления и направления потока смеси под валки установлены рассекатели.

В таких условиях в процессе перемешивания основная масса смеси пребывает во взвешенном состоянии, что обеспечивает снижение сопротивления смеси рабочему органу и повышает эффективность процесса перемешивания.

Экспериментальная часть исследования заключалась в получении данных о зависимости времени перемешивания на прочность смеси на смятие $\sigma_{см}$ во влажном состоянии и газопроницаемость. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

№	τ , с	Газопр., ед./газопр	$\sigma_{см}$, кПа	$\sigma_{см,ср}$, кПа
1	60	90	20,1; 21,2; 19,8	20,7
2	120	87	35,3; 35,4; 35,6	35,4
3	180	82	55,4; 55,8; 56	55,7
4	240	74	56,4; 57,2; 56,4	56,7
5	300	74	58,7; 56,2; 57	57,3

Также было достигнуто снижение потребления электроэнергии за счет уменьшения массы рабочего органа смесителя.

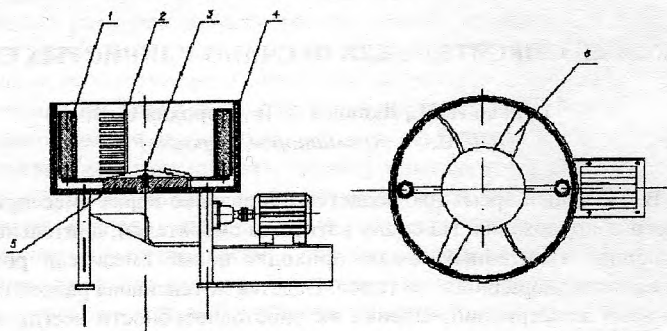


Рис. 1. Схема валкового смесителя для песчано-глинистых смесей:
1 – валок; 2 – рассекатель; 3 – конусный колпак; 4 – чаша;
5 – ротор; 6 – плужок.

Полученные результаты позволяют использовать данный смеситель для приготовления высококачественных песчано-глинистых смесей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФГМ КАК СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ РАЗГАРОСТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ И СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Дан Л. А.

(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)

При эксплуатации большого количества теплонапряженных литых деталей в металлургии, энергетике, машиностроении нередко наблюдается растрескивание их поверхностного слоя и его последующее выкрашивание. В некоторых случаях такой механизм разрушения – образование сеток трещин (сеток разгара) определяет долговечность конструкций, механизмов и машин. Появление сеток разгара в результате периодических нагревов и охлаждений характерно для рабочих поверхностей сталеразливочных поддонов, изложниц, кокилей, деталей печной арматуры и т. д.

Нет единого мнения о причинах образования сетки разгара. Д. К. Черновым предложена механическая теория образования сетки разгара в различных металлах. Ряд авторов считает, что образование сетки разгара на поверхности чугунных изложниц связано с ростом чугуна, а также с внутренними напряжениями в металле, которые возникают из-за периодических нагревов и охлаждений.

Нами был изучен еще один аспект разгара рабочих поверхностей чугунных и стальных отливок – окисление металла при нагреве. Исследования изменения микроструктуры, химического состава рабочего слоя металла в процессе эксплуатации проводили на чугунных сталеразливочных изложницах, деталях арматуры термических печей; кинетику окисления чугуна и стали при нагреве на дериватографе «Derivatograph-1500». В процессе нагрева образцов в дериватографе фиксировали изменение их массы по ходу опыта, скорость изменения массы и выделение или поглощение тепла вследствие протекания химических реакций окисления-восстановления различных элементов.

По ходу опытов с чугунными образцами отмечали увеличение массы образцов после нагрева их до температур более 600 °С, что являлось следствием окисления железа. Начиная с температур более 800 °С, наблюдали резкое уменьшение массы из-за окисления углерода чугуна.

Эксперименты со стальными образцами имели результатом увеличение массы образцов во всем температурном диапазоне эксперимента (от 20 до 1200 °С).

В результате анализа полученных данных был подтвержден топохимический характер протекавших в эксперименте процессов. Топохимический подход предполагает двухстадийность взаимодействия газообразной и твердой фаз, которое начинается с образования зародышей продукта на поверхности твердого реагента, их рост и слияние. На второй стадии происходит формирование сплошной тонкой оболочки продукта и продвижение фронта реакции вглубь твердого тела.

Анализ кривой выделения-поглощения тепла по ходу дериватографических исследований подтвердил сложный и стадийный характер взаимодействия кислорода воздуха с основными компонентами чугуна и стали.

Рассматривая процесс окисления, учли, что объем продуктов реакции окисления оксидов ($V_{ок}$) отличается от объема атомов металла ($V_{ме}$). При окислении железа до высшего оксида Fe_2O_3 $V_{ок}$ превышает $V_{ме}$ более чем в два раза. Таким образом, в слое окалины развиваются значительные механические напряжения, приводящие к ее растрескиванию.

На основании проведенных исследований предложили для замедления окисления и образования сетки разгара на поверхности металлических изделий создавать положительный градиент концентрации элементов, которые при взаимодействии с кислородом образовывали бы плотные оксиды, объем которых был бы близок к объему атомов самих элементов. Например, для сплавов железа такими элементами могут стать Ca, Mg, Al.

Были проведены лабораторные эксперименты по созданию функционально-градиентных материалов (ФГМ) на основе чугуна путем диффузионного насыщения рабочей поверхности образцов атомами Ca и Al из солей и оксидов при термоциклической обработке в поле градиента температуры. Получены положительные результаты по разгаростойкости образцов прошедших данную обработку.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Дардесов А. А., Мотов С. Н.
(ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Эволюция черной металлургии сопровождается повышением требований к качеству проката, которое, в значительной степени, определяется эксплуатационными характеристиками прокатных валков. Рост объемов производства проката в мире составляет 3–4 % в год. Соответствующим будет и рост потребления прокатных валков. Глобализация мировой экономики сопровождается ужесточением конкуренции на мировом рынке прокатных валков. Для потребителей качество валков становится более важным фактором, чем соотношение цена-качество.

В настоящее время мировой рынок ориентирован на потребление валков из высоколегированных сталей. Новые материалы и технологии позволяют увеличить широкий спектр качественных показателей валков и обеспечивают глубину рабочего слоя опорных валков до 100 мм, рабочих – до 60 мм, разброс значений твердости по поверхности 1–2 HSD, а по глубине рабочего слоя – до 4 HSD.

Для изготовления прокатных валков применяются легированные стали с содержанием углерода 0,4–0,9 % и минимальным количеством вредных

примесей серы, фосфора, водорода: 90ХФ, 75ХМФ, 75Х2МФ, 60Х2СМФ, 65Х2С3МФ, 80Х3МФ, 80Х5МФ. С увеличением содержания углерода в стали растёт количество карбидной фазы и, как следствие, повышается твёрдость и износостойкость. Для повышения служебных свойств стали, применяемые для их изготовления, легируют Cr, Mn, Ni, Mo, V.

В качестве основного легирующего элемента, обеспечивающего прокаливаемость, применяется хром в количестве 1,5–5,0%. Хром увеличивает закаливаемость, прокаливаемость, износостойкость и устойчивость против отпуска, в то же время усиливает хрупкость и снижает пластические свойства. Кремний в валковых марках сталей несколько повышает прокаливаемость и закаливаемость, в то же время кремний усиливает структурную неоднородность стали в отожжённом состоянии, повышает склонность стали к росту зерна при нагреве и увеличению количества остаточного аустенита. Поэтому оптимальное его содержание находится в пределах 1,3–1,8 %. Проведенные исследования показали, что количество остаточного аустенита в структуре стали может служить одним из критериев склонности стали к росту зерна при нагреве. Молибден является сильным карбидообразующим элементом, повышает прочностные свойства стали. Ванадий способствует измельчению аустенитного зерна при нагреве стали, снижает опасность перегрева, повышает прочность и износостойкость стали в закалённом и низкоотпущенном состоянии. Содержания марганца в валковых сталях обычно определяется интервалом 0,20–0,70 %.

Наличие в составе валковых сталей марганца обусловлено связыванием серы в сульфиды. Содержание вредных примесей серы и фосфора, снижающих пластичность и усталостные характеристики валковых сталей, не должно превышать 0,015 %.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕВА НА СВОЙСТВА ДОМЕННЫХ ЧУГУНОВ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Денисенко В. Н., Березка А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

О влиянии перегрева жидкого чугуна и температуры разливки по формам на структуру и механические свойства отливок в литературе имеются различные мнения. Некоторые авторы рекомендуют проводить перегрев с целью нивелирования «наследственных» свойств доменных чугунов при получении здорового литья в литейных цехах.

Под наследственностью в чугуне обычно понимается тенденция к воспроизводству в отливках структуры и свойств исходных чугунов. Различают химическую и физическую наследственности.

Химическая наследственность связана с присутствием примесей в доменном чугуна, переходящих из него в отливку при плавке. Физическая наследственность обусловлена сохранением зародышей кристаллизации аналогичных присутствующим в доменном чугуна, даже если этот чугун переплавляется.

В работе рассмотрены физические и химические аспекты «наследственности» в чугуна.

Широкое внедрение индукционной плавки в литейных цехах машиностроительных заводов расширяют возможности перегрева чугуна и максимального использования свойств, заложенных «наследственностью» доменных чугунов. Для определения влияния перегрева на свойства доменного чугуна был отобран литейный и передельный чугун с 16 металлургических заводов, работающих на рудах Казахстана, Урала, Кольского полуострова, КМА, Криворожского бассейна и Керченского месторождения.

В доменных чугунах определяли химический состав по основным и примесным элементам, количество газов, неметаллических включений, макроструктуру, микроструктуру, механические и литейные свойства. Проведено три вида термообработки в жидком состоянии.

В результате исследований установлено, что все доменные чугуны соответствуют требованиям ГОСТов и ДСТУ марки ЛЗ и ПЛ1 по основным элементам. Содержание микропримесей химических элементов различно как по элементам, так и по их количеству.

Макроструктура и внешний вид чушковых чугунов не одинаковы. Большинство чугунов имеют как наружные, так и внутренние дефекты. Например, чушковые чугуны Приднепровья, центра и севера России, Урала имеют такие дефекты, как: графитовая спель, газовые раковины, слоистую поверхность, а некоторые, кроме перечисленных пороков, имеют осповидную поверхность со стороны разливочных мульт. Механические свойства доменных чугунов, определенные после переплава их в идентичных условиях, также различны. Из чугунов наиболее высокие механические свойства имеют чугуны, выплавленные из руд Керченского месторождения, Кольского полуострова и Казахстана.

В процессе исследований и перегревов по принятой методике установлено, что даже высокий перегрев, соответствующие выдержки перед разливкой чугуна по формам не устраняют различий в свойствах, заложенных «наследственностью» чугунов.

Подтверждено, что даже весьма существенная термообработка в жидком состоянии не может нивелировать индивидуальные свойства, присущие тому либо иному чугуна, полученному на металлургических заводах, работающих на рудном сырье, полученном из руд различных месторождений. Проведенные исследования позволили ранжировать чугуны по свойствам.

Таким образом, повысить свойства чугуна в отливках возможно путем рационального перегрева и включением в состав шихты доменных чугунов с благоприятной «наследственностью».

КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛОМ ФЕРОМАГНІТНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТОК У ОБ'ЄМІ РІДКОГО АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ

Доній О. М., Горелкін Д. М., Котляр С. М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Широкі поширення композиційних виливків стримується відсутністю простої, надійної та ефективної технології їхнього виготовлення. Вирішення цієї задачі пов'язано з рядом специфічних технологічних проблем. Наприклад, у КМ із дисперсійним наповнювачем кількість часток, що вводяться, може бути до 25 %. У зв'язку з цим виникає ряд питань, що пов'язані з тим, що у виливках є дефекти, що приводять до зниження їхніх службових властивостей, такі як нерівномірність розподілу часток по об'єму матриці. Для усунення цих недоліків використовують інтенсивне перемішування наповнювача у розплаві, вібрацію, електромагнітний вплив, як металеву матрицю використовують метали і сплави з низькою питомою в'язкістю при температурах заливання та інші технологічні прийоми.

Однак ефективність цих прийомів досить низька, тому досі актуальним є пошук різних комплексних впливів на литий КМ як до, так і під час процесу кристалізації.

Метою даної роботи є розробка технологічних прийомів комплексного впливу на процес формування структури алюмінієвих сплавів для підвищення їхніх службових характеристик.

Однією із задач, що підлягає вирішенню для досягнення мети, було дослідження можливості керування розподілом у об'ємі виливка феромагнітними твердими частками, що знаходяться в алюмінієвій матриці у передкристалізаційний період і в процесі кристалізації, за допомогою магнітних і електромагнітних полів.

Як металеві матриці були використані Al-сплави (В96 і технічно чистий алюміній та ін.). Це пояснюється тим, що дані сплави мають достатні показники ливарних властивостей, у першу чергу рідкотекучість.

Дисперсійний наповнювач являв собою сталеві частки з розмірами до 1 мм в діаметрі і висотою 5–10 мм, що були попередньо очищені і намагнічені. Джерелами магнітного поля були обрані: 1 – постійний магніт; 2 – електромагніт тороїдальної форми.

Як видно, даний спосіб показав принципову можливість керування розподілом армувальних часток, і що за допомогою магнітного поля можливо керувати розподілом феромагнетиків (Fe) у магнітонечутливому сплаві (наприклад, Al-сплави), що, у свою чергу, говорить про те, що спосіб можливо використовувати для одержання литих композиційних матеріалів із диференціальними властивостями по об'єму.

Були проведені механічні випробування, а саме обмірювана твердість вихідних алюмінієвих сплавів і отриманих зразків. Як результат, зразки із частками наповнювача у 1,7–2 рази твердіші ніж вихідні сплави. Крім того, в процесі експериментів було з'ясовано, що більш рівномірному

розподілу часток наповнювача в матриці перешкоджає підвищена в'язкість рідкого розплаву. Її зниження можливо досягти за допомогою введення мікродомішок, що не будуть впливати на кінцеві технологічні властивості. Для цього була розроблена установка для визначення динамічної в'язкості.

На даний момент проводяться механічні випробування на стискання, вигин і досліджуються особливості перехідного шару на границі «матриця – наповнювач».

ПЕРВЫЙ СПЕЦИАЛЬНЫЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО ЛИТЕЙНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ НА ЧЕТЫРЕХ ЯЗЫКАХ

Дорошенко С. П., Лютый Р. В.
(НТУУ «КПІ», г. Київ, Україна)

Уже более 15 лет прошло с того момента, как Украина стала независимой, но в инфраструктуре ее народного хозяйства мало что изменилось. Как и прежде, уровень общего прогресса тесно связан с прогрессом в машиностроении и в частности – в литейном производстве.

Для решения сложных технологических задач возникает острая потребность в высококвалифицированных специалистах. Современные требования к ним довольно высокие. К основным из них относятся владение иностранным языком (и желательно – не одним), знакомство с информационными технологиями, знание всех современных технологических процессов по специальности. С пришествием независимости Украины добавилось еще одно требование, которое касается не так молодых специалистов, которых готовят вузы и техникумы, как самих учебных заведений. Необходимо полностью переходить на государственный украинский язык.

Неоднократно поднимался вопрос: как можно перевести на украинский язык все преподавание специальных предметов, если терминология не утверждена, а что еще хуже – и не разработана! Однако будущее – за теми, кто сидит сейчас за университетскими партами, и для них нужно обеспечить качественное образование в той стране, в которой они живут.

Первоочередным актуальным вопросом является издание терминологического словаря по литейному производству. На сегодняшний день у нас нет другого выбора, как пользоваться политехническими словарями 25–30-летней давности. Кроме того, что в них отсутствуют новые важные термины, они не носят специального характера, а являются общетехническими.

В развитых зарубежных странах издают, как правило, многоязычные (от 4 до 7 языков) словари с узкой специализацией. Существуют таковые и по литейному производству. Пользуясь таким словарем, можно не только подробнее изучить возможности родного языка, но и успешно работать с зарубежной литературой, в частности в Интернете.

Впервые в Украине коллективом авторов кафедры литейного производства черных и цветных металлов НТУУ «Киевский политехнический институт» при поддержке Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины подготовлен четырехязычный словарь по конкретной специальности. Он содержит около 20 000 терминов и процессовых понятий, охватывающих все аспекты литейного производства. Термины представлены на четырех языках: русском, украинском, английском и немецком.

В первую очередь словарь предназначен для высших учебных заведений, чтобы решить проблему украинской специальной терминологии. Кроме того, он будет, несомненно, полезен для всех специалистов в данной отрасли, ведущих научный и технологический поиск и работающих с литературой.

Мы собрали максимальное количество употребляемых терминов в украинском, английском и немецком языках, чтобы упростить задачи чтения и перевода, а также в большей степени ознакомить пользователей словаря с возможностями этих языков.

Поскольку литейное производство является отраслью не обособленной, а тесно связанной с другими металлургическими науками, большую пользу из данного словаря смогут извлечь специалисты по общей металлургии, порошковой металлургии, металловедению и металлообработке, специальной металлургии и некоторые другие.

Издание русско-украинско-англо-немецкого словаря терминов по литейному производству запланировано на 2008 год.

ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЯКІСНИХ ВИЛИВКІВ ІЗ АЛЮМІНІСВИХ СПЛАВІВ

Доценко Ю. В.

(НМетАУ, м. Дніпропетровськ, Україна)

Як відомо, поліпшення якості виливка, що кристалізується під тиском, може виявлятися не тільки в помітному подрібнюванні зерна, але й у зниженні шпаристості. Разом з цим, слід зазначити, що способи здійснення зовнішніх впливів на метал виливка, що кристалізується, які застосовують на практиці, з технологічної точки зору мають ряд відомих недоліків, що стосуються, у тому числі, обмежень по масі, виду сплаву, конфігурації литих заготовок і ін. Одним із напрямків активного впливу на структуру виливків є газодинамічний вплив на розплав, що твердне у ливарній формі.

Велика кількість «класичних» експериментальних робіт і теоретичних розрахунків процесу затвердіння проводилася стосовно чистих металів, що не мають інтервалу кристалізації і кристалізуються при постійній температурі. При цьому тверда і рідка частини виливка розділяються досить чіткою границею (фронтом затвердіння), що послідовно просувається від поверхні до центру. У випадку затвердіння більшості реальних сплавів,

що представляють тип твердих розчинів, процес відбувається в інтервалі температур «ліквідус – солідус». Затвердіння виливків проходить не моноклінічними шарами з чіткою границею між твердою і рідкою фазами, а в перехідній зоні двофазного стану, у якій одночасно знаходяться рідка і тверда фази. Для сплавів із широким інтервалом затвердіння характерні найбільш широка зона, що приводить до появи дефектів литого металу (насамперед, шпаристості), а також необхідність застосування спеціальних технологічних заходів, направлених на зниження відповідних негативних наслідків. До такого роду заходів можна віднести технологічний процес газодинамічного впливу на розплав у ливарній формі, що дозволяє створювати умови і здійснювати наростаючий газовий тиск в обсязі виливка аж до повного його затвердіння. Під впливом тиску створюються умови для ущільнення металу у двофазній зоні, що на мікрорівні виявляється також у частковому обламунанні гілок зростаючих дендритів, їхньому переміщенні і недопущенні локалізації значних обсягів рідини, що приводить, у наслідку, до утворення шпаристості у виливку.

У ливарному цеху ЗАТ «Горизонт» впроваджено технологію газодинамічного впливу на розплав при виробництві виливків деталей «Опорний наконечник стійки конвесра». Виливок даної номенклатури виготовляють зі сплаву SC51A (за ASTM США), вітчизняний аналог – сплав АК5М (ДСТУ 2839-94) способом лиття в кокіль. Відмінною рисою технології є включення в порядок технологічних операцій виготовлення виливка таких етапів: проведення рафінування (препарат DEGASAL T 200) і введення модифікатора в розплав (препарат EUTEKTAL T 200), введення в робочу порожнину форми пристрою оригінальної конструкції для подачі газу, витримка виливка з пристроєм протягом заданого проміжку часу, подача газу (аргону) з початковими показниками тиску 0,15–0,2 МПа, наступне нарощування тиску до 1–1,1 МПа і витримка під тиском до повного затвердіння виливка.

На даний технологічний процес розроблено відповідну інструкцію. У результаті впровадження зазначеної технології скоротилася кількість браку виливків по рихлотах і газовим раковинам на 28 %, збільшилися на 25 % пластичні властивості литого металу.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ Cu–Ti, Cu–Zr И Ti–Zr

Древаль Л. А., Агравал П. Г., Абдулов А. Р., Соловьев Н. В, Турчанин М. А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Сплавы системы Cu–Ti–Zr демонстрируют высокую склонность к аморфизации закалкой из жидкости [1]. Поэтому эта система является подходящим объектом для теоретического рассмотрения процессов получения быстрозакаленных и объемных аморфных сплавов. Термодинамическое

моделирование стабильных и метастабильных фазовых превращений в тройной системе не возможно без надежного термодинамического описания граничных двухкомпонентных систем.

Термодинамическое описание граничных систем Cu–Ti, Cu–Zr и Ti–Zr было выполнено в рамках CALPHAD-метода [2]. Для описания избыточной составляющей термодинамических свойств расплавов Cu–Ti и Cu–Zr была использована модель идеального ассоциированного раствора. Избыточная энергия Гиббса смешения граничных твердых растворов (Cu), (α Ti, Zr), (β Ti, Zr) и расплавов Ti–Zr была описана моделью Редлиха-Кистера-Муджияну. Интерметаллические соединения Cu_2Ti , Cu_3Ti_2 , Cu_4Ti_3 , $CuTi_2$, Cu_5Zr , Cu_8Zr_3 , $Cu_{10}Zr_7$, CuZr и $CuZr_2$ были описаны как линейные соединения. Для моделирования температурно-концентрационной зависимости энергии Гиббса интерметаллических соединений Cu_4Ti и CuTi с областью гомогенности был использован Compound Energy Formalism (CEF) [3].

На рис. 1 представлены рассчитанные диаграммы состояния систем Cu–Ti, Cu–Zr и Ti–Zr.

С использованием полученных термодинамических описаний систем Cu–Ti и Cu–Zr выполнен анализ метастабильных превращений с участием переохлажденной жидкой фазы и граничных твердых растворов. Рассчитаны теоретические пределы насыщения граничных твердых растворов, полученных методом закалки из жидкости, и оценены концентрационные интервалы получения быстрозакаленных и объемных аморфных сплавов.

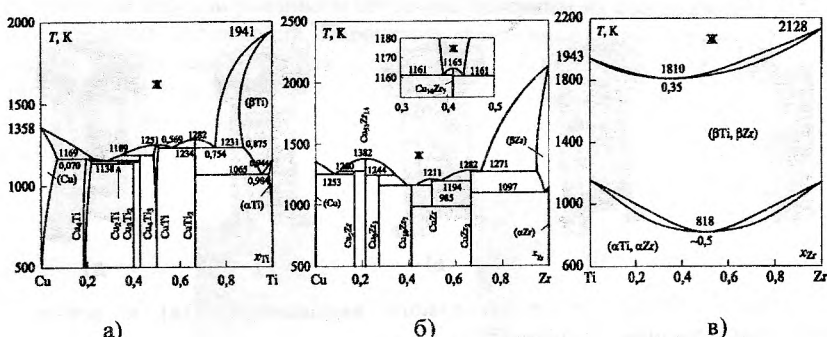


Рис. 1. Рассчитанные диаграммы состояния систем Cu–Ti (а), Cu–Zr (б) и Ti–Zr (в).

ЛИТЕРАТУРА

1. Inoue A., Zhang W., Zhang T. and Kurosaka K. // *Acta Mater.* – 2001. – V. 49, N. 14. – P. 2645–2652.
2. Kattner U. R. // *J. Metals.* – 1997. – V. 49, N 12. – P. 14–19.
3. Hillert M. // *J. Alloys Compd.* – 2001. – V. 320. – P. 161–176.

РАДИАЛЬНО-ПРЯМОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ НА ОПРАВКЕ

Жбанков Я. Г., Москаленко М. С.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Традиционными способами обработки металлов давлением изготовления деталей типа втулок являются высадка, продольное (прямое и обратное) и поперечное выдавливание, локальная обработка и процессы штамповки, предполагающие сочетание этих способов. Однако данные способы являются малоэффективными при изготовлении полых деталей сложной формы. Одним из высокоэффективных способов получения полых деталей с переменной толщиной стенки является холодное радиально-прямое выдавливание на плавающей оправке. Способы выдавливания с подвижным инструментом обладают огромным потенциалом возможностей изготовления деталей. Эти способы по сравнению с другими, часто используемыми, имеют большое количество достоинств, основным из которых является возможность получения деталей формы, не доступной для получения простыми способами.

Рассматриваемый способ позволяет получать полые осесимметричные детали разнообразной формы (практически с любым набором утолщений по величине и по расположению на детали). Схема данного способа и типы деталей, которые возможно получать данным способом, представлены на рис. 1.

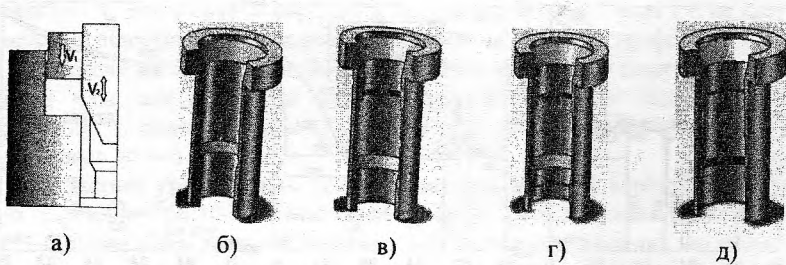


Рис. 1. Схема радиально-прямого выдавливания (а) и детали, получаемые данным способом (б-д).

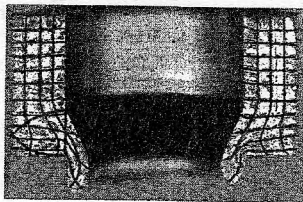


Рис. 2. Искажение делительной сетки при радиально-прямом выдавливании на оправке.

Разработаны энергетическими методами модели силового режима для процессов радиально-прямого выдавливания полых деталей с переменной толщиной стенки. Получены расчетные зависимости и построены графики зависимостей для приведенных давлений деформирования и раскрытия с учетом оптимизированной формы инструмента, которые распространены на частный случай радиально-прямого выдавливания без зазора между оправкой и матрицей. Установлена форма очага деформации при радиальном внутреннем течении, которой является форма криволинейного треугольника (рис. 2).

ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕССЕ РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Жбанков Я. Г., Чуйко Л. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При исследовании новых технологических схем важно знать распределения деформации по объему детали, а также положение, форму и размеры очага деформации по ходу процесса. Это дает возможность оценки формоизменения заготовки. Большинство экспериментальных методик вычисления деформированного состояния основаны на соотношениях теории конечных деформаций. Параметры деформированного состояния определяются из сопоставления конечной формы и размеров ячейки делительной сетки с её исходной формой и исходными размерами.

Рассматривались две схемы радиально-прямого выдавливания на оправке (рис. 1).

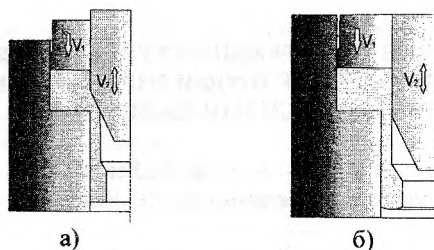


Рис. 1. Схема радиально-прямого выдавливания без зазора (а) и с положительным зазором (б) между оправкой и матрицей.

В ходе исследований качественно и количественно оценено формоизменение заготовки и произведено сравнение схем с нулевым и положительным зазором между оправкой и матрицей (рис. 2).

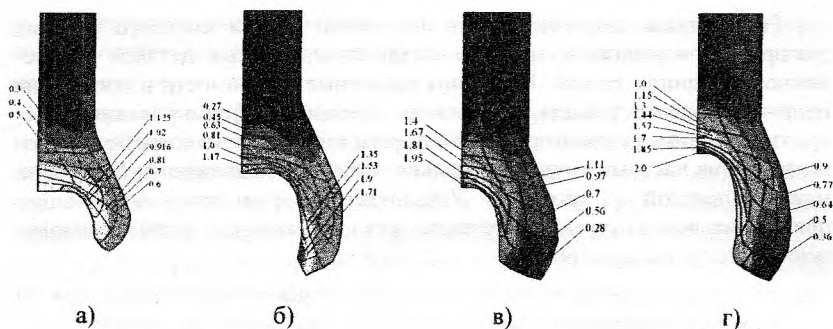


Рис. 2. Распределение интенсивности деформаций при радиально-прямом выдавливании на оправке по безззорной схеме (а–б) и по схеме с положительным зазором между оправкой и матрицей.

Результаты исследований деформированного состояния методом сечек позволили уточнить представления о форме и размерах очага деформации, выявить зоны с максимальной степенью деформации и дать рекомендации по использованию без ззорной схемы выдавливания для получения деталей с наименьшей неоднородностью механических свойств по поперечному сечению детали.

Зонами с максимальной деформацией являются зоны заготовки, прилегающие к кромке матрице в обеих схемах деформирования. В этой зоне интенсивность деформаций достигает своего пикового значения в 2 единицы. Очаг деформации по своей высоте ограничен высотой наклонной образующей оправки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ ПРОФИЛИРОВАННОГО КОКИЛЯ С ПОЛУКРУГЛЫМИ КАЛИБРАМИ

Жегур А. А., Хрычиков В. Е., Репях С. И.
(НМетАУ, г. Днепрпетровск, Украина)

Металлографические исследования структуры валков с полукруглым профилем показали, что при соотношении толщины стенки кокиля (x) к радиусу отливаемого в нём валка (R) от 0,8 до 1,2 толщина отбелённого слоя в валке на калибрах составляет 26...32 мм. Поскольку, при прочих равных условиях, толщина отбелённого слоя в чугунной отливке зависит от скорости кристаллизации чугуна, рассчитали скорость кристаллизации валка в области его гладкой поверхности и в области калибра на расстоянии 30 мм от поверхности валка.

Анализ зависимостей показывает, что скорость затвердевания чугуна в валке со стороны калибра значительно ниже, чем скорость затвердевания чугуна со стороны его гладкой поверхности. Это различие обусловлено различиями в теплоаккумулирующей способности выступа кокиля, как конструктивного элемента, и его гладкой части. При этом с увеличением относительной толщины стенки кокиля скорость охлаждения валка, в интервале температур кристаллизации чугуна, изменяется незначительно. Из этого следует, что увеличение толщины стенки кокиля в пределах изменения соотношения x/R от 0,2 до 1,0 практически не влияет на структуру чугуна в рабочей части валка и, как следствие, не изменяет его эксплуатационные свойства.

Рассматривая состояние чугунного кокиля в период, установили температуру перехода чугуна кокиля из упругого в упруго-пластичное состояние, которая составила 550–580 °С.

Уменьшение относительной толщины стенки от $x/R = 1,0$ до $x/R = 0,2$ способствует увеличению как средневзвешенной, так и максимальной температуры самого кокиля при охлаждении в нём валка. При этом кокили с соотношением $x/R < 0,4$ в процессе затвердевания и охлаждения валка прогреваются на всю толщину стенки до температур, превышающих 550 °С.

Из вышеизложенного следует, что применение кокилей с относительной толщиной стенки менее 0,4 не оправдано, поскольку при относительной толщине стенки кокиля x/R менее 0,4 стенка кокиля на всю толщину прогревается выше 550 °С – температуры перехода чугуна в область упруго-пластических деформаций. В свою очередь, механическое воздействие охлаждающегося валка на выступы кокиля, находящиеся в области температур пластической деформации чугуна, приводит как к механической интенсификации процесса разрушения рабочей поверхности кокиля, в частности, выступов, так и деформации (короблению) кокиля. То есть наиболее опасной толщиной стенки кокиля с точки зрения эксплуатационной его стойкости является соотношение толщины стенки кокиля к радиусу валка менее 0,4.

Расчёты величин напряжений (при расчете напряжений не учитывались тангенциальные и осевые напряжения, так как они изменяются пропорционально радиальным напряжениям), возникающих в стенке кокиля при его эксплуатации, показывают, что максимальная средневзвешенная температура толстостенного кокиля меньше аналогичной температуры тонкостенного кокиля. Тем не менее, в стенке толстостенного кокиля возникает большой перепад температур и, соответственно, развиваются большие температурные напряжения, в ряде случаев превышающие предел прочности чугуна на разрыв (при этих температурах). Результатом возникновения значительных термических напряжений в стенке кокиля является его коробление и (или) преждевременный выход из эксплуатации.

ЗАКАЛКА С САМООТПУСКОМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Заблоцкий В. К.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Закалка с самоотпуском относится к числу энергосберегающих способов закалки. Она назначается для ударного инструмента, который обладает высокой стойкостью тогда, когда твердость постепенно и равномерно понижается от рабочей (режущей) части к центру и к хвостовой (крепежной) части инструмента. Это достигается тем, что изделия выдерживают в закалочной ванне не до полного охлаждения. Их извлекают из охладителя, когда внутренние слои еще достаточно нагреты. За счет внутреннего тепла происходит нагрев поверхностных слоев изделия до нужной температуры, т. е. самоотпуск закаливаемого изделия.

Нужную температуру обычно определяют по цветам побежалости, хотя в этом случае приходится удовлетворяться менее точным контролем температуры отпуска. Традиционно этому способу закалки подвергают инструменты из углеродистых сталей У7, У8. Особенность этих сталей заключается в том, что для них характерна высокая критическая скорость закалки, а после закалки они не получают устойчивого остаточного аустенита. Как правило, он в процессе самоотпуска превращается в бейнит. За последние годы появились работы, в которых предпринимаются попытки применить закалку с самоотпуском для легированных сталей, в том числе валковых сталей с повышенным содержанием хрома. Особенностью этих сталей является существование области повышенной устойчивости аустенита при переохлаждении в процессе закалки, что обусловлено приостановкой превращений при охлаждении между верхней диффузионной и нижней бездиффузионной областями превращений. Поэтому, если под закалку производить объемный нагрев изделия, а затем охлаждать его с поверхности, то при достижении внутри температуры 300–450 °С (в зависимости от марки стали) появится остаточный аустенит повышенной устойчивости. Если такой аустенит дополнительно стабилизировать самоотпуском, то при последующем нормальном отпуске он сохранится в структуре стали после завершения процесса отпуска. Такой аустенит склонен к распаду, как в процессе вылеживания валков, так и в процессе их эксплуатации. Распад остаточного аустенита будет приводить к увеличению уровня остаточных напряжений и разрушению валков. Чаще всего будет происходить разрушение посередине длины бочки валков, что связано с распределением внутренних напряжений по объему валков после отпуска. Поэтому валковые стали с повышенной устойчивостью аустенита нельзя подвергать после закалки самоотпуску, а необходимо немедленно направлять на отпуск при температуре выше 450 С. Кроме того, посадка валков на отпуск непосредственно после закалки является более энергосберегающей операцией, чем самоотпуск после закалки, а затем окончательный отпуск.

Это обусловлено тем, что в процессе самоотпуска, проводимого на открытом воздухе, часть внутреннего тепла расходуется на нагрев окружающей среды. Посадка на отпуск непосредственно после закалки обеспечивает расход внутреннего тепла на нагрев до температуры отпуска, что ускоряет скорость нагрева и тем самым уменьшает стабилизацию структуры остаточного аустенита.

Закалку с самоотпуском для валковых сталей с повышенным содержанием хрома нельзя применять перед обработкой холодом, так как стабилизация аустенита в процессе самоотпуска снизит скорость его распада при обработке холодом, чем удлинит цикл этой обработки и уменьшит ее эффективность. Необходимо также учитывать, что аустенит является накопителем водорода, а поэтому его стабилизация может способствовать охрупчиванию металла, вызванному образованием флокенов и наиболее вероятному разрушению валков в поперечном направлении. Разрушение может происходить как в процессе эксплуатации, так и в местах хранения валков. Вполне понятно, что применение обработки холодом будет благоприятно влиять на предупреждение указанного дефекта и повышение качества валков.

Следовательно, закалка с самоотпуском в крупных сечениях является наиболее перспективным способом закалки для изделий из углеродистых конструкционных сталей.

БОРОХРОМОАЛИТИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНО-ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С НЕЗАКРЕПЛЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Заблоцкий В. К., Дьяченко Ю. Г.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Известно, что борохромоалитированный слой, полученный после насыщения в смеси, содержащей V_4C 40 %, $FeCr$ 10 %, Al_2O_3 43 %, Na_3AlF_6 7 %, обладает высокой абразивной износостойкостью в условиях сухого трения по закрепленным частицам [1]. Было целесообразно проверить стойкость изделий с борохромоалитированным покрытием в условиях абразивно-жидкостного трения с незакрепленными частицами.

Объектом для промышленного внедрения технологии борохромоалитирования были взяты планки зернового барабана маслопресса ЕТР-20.1, который используется при производстве подсолнечного масла.

По существующей технологии эти планки изготавливают из стали 20Х и подвергают цементации на глубину 1,5–2 мм с последующей закалкой и низким отпуском на твердость 56–62 HRC.

Анализ микроструктуры планок после эксплуатации в зоне износа показывает, что износ происходит неравномерно и начинается с острых краев и постепенно распространяется по глубине слоя.

Прекращение процесса эксплуатации планок наступает тогда, когда по поверхности изношенная часть составляет половину ширины планки. В этом случае глубина износа в той части, с которой начинается износ, составляет по 2,5 мм с каждой стороны, то есть превышает глубину цементованного слоя (на 25 %).

Насыщение поверхности планок проводили по следующей технологии. В качестве материала для планок была принята сталь Ст3. В контейнер помещали планки и засыпали насыщающую порошковую смесь, которая состоит из 40 % V_4C , 10 % $FeCr$, 43 % Al_2O_3 и 7 % Na_3AlF_6 . Герметизацию контейнера осуществляли измельченным стеклом, который в процессе нагрева контейнера образовывал плавкий затвор. Насыщение производили при температуре 900 °С с выдержкой 5 часов. После завершения процесса контейнер охлаждали вместе с печью.

На основании полученных данных было установлено, что в условиях абразивно-жидкостного трения с незакрепленными частицами борохромоалитированный слой имеет стойкость выше в 4 раза по сравнению со стойкостью слоя, полученного после цементации и закалки с низким отпускком.

Эти результаты были сопоставлены с результатами, полученными при испытаниях в условиях абразивного износа о закрепленные частицы. В качестве материала исследования были выбраны образцы, изготовленные из стали Ст3 сечением 15×15, подвергнутые цементации с последующей закалкой и низким отпускком, а также образцы после поверхностного борохромирования (40 % V_4C , 10 % $FeCr$, 48 % Al_2O_3 и 2 % NH_4Cl), и борохромоалитирования (40 % V_4C , 10 % $FeCr$, 43 % Al_2O_3 и 7 % Na_3AlF_6). Цементованная, а затем закаленная и низкоотпущенная сталь Ст3 (поверхностная твердость 57 HRC) в процессе испытания достигает катастрофического износа за 0,5 часа. При одинаковых условиях испытаний катастрофический износ поверхности борохромированного образца из той же стали достигает за 1,25 часа, а борохромоалитированного образца – за 2,25 часа. Из этого следует, что при испытаниях в условиях абразивного износа о закрепленные частицы борохромоалитированный образец во много раз превышает износостойкость цементованного образца. Это обусловлено тем, что поверхностный слой после борохромирования имеет твердость H_{100} 14800 МПа и глубину 0,19 мм, а борохромоалитированный слой при твердости близкой к H_{100} 17770 МПа имеет глубину 0,25 мм, что обеспечивает повышенную абразивную износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заблюцкий В. К., Дьяченко Ю. Г. Особенности абразивного износа комплексных В-Сr-Al покрытий на углеродистых сталях // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 4/1 (22). – С. 59–62.*

ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НАСЫЩЕНИЯ СТАЛЕЙ В, Ti и Al В ПОРОШКОВЫХ СМЕСЯХ

Заблоцкий В. К., Лапченко А. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Замена легированных сталей углеродистыми, подвергнутыми химико-термической обработке, является актуальной проблемой промышленности. Это позволит уменьшить использование легирующих элементов, дефицит которых с каждым годом возрастает, значительно снизить себестоимость изготовления изделий. Применение химико-термической обработки при поверхностном легировании позволяет в значительной мере изменять свойства углеродистых сталей и получать положительные результаты в повышении эксплуатационной надежности изделий. Очень перспективным является трехкомпонентное насыщение, которое позволяет изменять структуру и свойства поверхностных слоев в широких пределах при энергосберегающем одноразовом комплексном насыщении всеми компонентами. Разработка оптимальных режимов поверхностного легирования сплавов одновременно В, Ti и Al при химико-термической обработке в порошковых смесях является актуальной задачей, которая представляет теоретический и практический интерес. В литературе имеются данные о применении как одновременного, так и последовательного насыщения бором, титаном и алюминием углеродистых сталей для упрочнения деталей машин и инструмента, однако отсутствуют системные данные о структурах поверхностных слоев, что не позволяет эффективно использовать эти процессы упрочнения для широкой номенклатуры изделий.

Целью данной работы является систематизация данных о типах слоев, получаемых комплексным насыщением сталей бором, титаном и алюминием и обоснование целесообразности их применения для упрочнения различных типов изделий.

На основании проведенных исследований установлено, что комплексное насыщение бором, титаном и алюминием обеспечивает возможность получения следующих структур:

1. Структура, состоящая из твердого раствора В, Ti и Al на базе Fe_с на поверхности и внутреннего слоя боридов на границе с основным металлом.

2. Бориды железа в окружении твердого раствора на поверхности, затем зона твердого раствора В, Ti и Al и далее, в глубине, на границе с основным металлом – слой боридов.

3. Бориды располагаются на поверхности среди твердого раствора, распространяются в зоне твердого раствора и переходят в основной металл.

4. Бориды на поверхности, которые затем распространяются через твердый раствор до внутренних боридов и объединяются вместе с последними.

Перечисленные типы структур могут быть использованы в промышленности для придания требуемых свойств изделиям различного назначения.

Первый тип структур целесообразно использовать для изделий, от которых требуется высокая режущая способность в сочетании с высокой технологической пластичностью (обувные резакы, ленточные ножи), а также для упрочнения изделий, подвергаемых в процессе изготовления закалке с отпуском. После закалки в поверхностном слое трещины не образуются.

Слой второго типа может быть использован для упрочнения изделий, для которых наиболее важным параметром является геометрическая форма.

Третий тип слоя может применяться для изготовления мерительных инструментов типа калибров. Применение боротитаноалитирования позволит изготавливать калибры из обычной конструкционной стали, поскольку отпадает необходимость термической обработки.

Слои третьего и четвертого типа можно использовать для упрочнения изделий, работающих в условиях ударно-абразивного износа. Равномерная толщина игл боридов по всей глубине слоя будет обеспечивать более равномерный износ, а их расположение в твердом растворе – более высокую вязкость по сравнению со слоем, получаемым борированием.

ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ПРИ 300 °С НА СВОЙСТВА СТАЛИ 55Х4СМФ

Заблоцкий В. К., Мелешенко И. Ю.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Изотермическая закалка, как известно, обеспечивает высокую вязкость сталей и бездеформационную закалку изделий. Важными параметрами изотермической закалки являются температура, при которой производится выдержка, и продолжительность выдержки. Установление этих параметров является важной задачей для любого режима изотермической закалки. Наиболее часто для определения продолжительности выдержки при изотермической закалке используют дюрOMETрический метод, согласно которому продолжительность выдержки определяют по характеру изменения твердости. В этих случаях за продолжительность изотермической выдержки принимается время, после которого твердость закаленной стали не изменяется. Поскольку измерение твердости по методу Равелля является достаточно грубым методом, который при длительных выдержках может дать значительные погрешности в определении продолжительности изотермической выдержки, целесообразно для этих целей использовать магнитные методы. В данной работе параллельно с методом оценки

продолжительности изотермической выдержки по твердости использовали магнитные методы: измерение коэрцитивной силы (H_c) по величине тока перемагничивания образца и магнитной проницаемости (μ) по напряжению разбаланса трансформатора в специально созданных для этих целей приборах. Образцы из стали 55Х4СМФ размерами 3х5х20 мм нагревали до температуры закалки при 880 °С и выдерживали 30 мин, а затем охлаждали в изотермической среде определенное время, после которого их закаливали в воде и определяли твердости и магнитные свойства. Результаты изменения указанных свойств приведены на рис. 1.

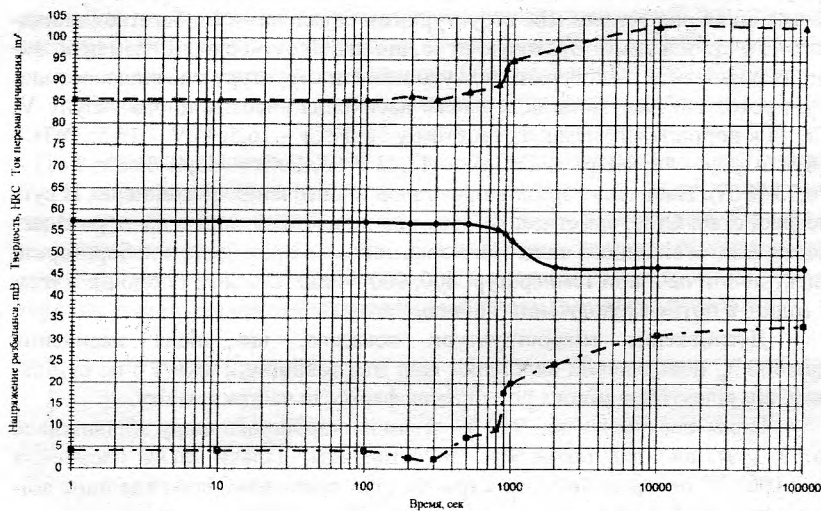


Рис. 1. График изменения твердости, тока перемагничивания, напряжения разбаланса от времени изотермической выдержки при температуре 300 °С стали 55Х4СМФ.

Как следует из рис. 1, заметное изменение твердости образцов прекращается после изотермической выдержки 2000 с, тогда как заметное изменение магнитных свойств не наблюдается лишь после выдержки 10 000 с. Следовательно, структурно-фазовые превращения аустенита при 300 °С прекращаются лишь после изотермической выдержки 10 000 с, которую следует считать номинальной для указанной стали при данной температуре.

ДИФЕРЕНЦІОВАННЯ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ПІСЛЯ НАСИЧЕННЯ КАРБІДОУТВОРЮЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ V, Cr, Ti

Заблюцький В. К., Корсун В. А., Фесенко М. А.

(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Структура ферито-перлітного високоміцного чавуну складається з перліту, в середині якого розміщується ферит з кульками графіту. На поверхні виробів із такого чавуну розміщуються зерна перліту, фериту і графіту. Твердість, зносостійкість та інші властивості такої поверхні визначаються співвідношенням між структурними складовими і в багатьох випадках не є стабільними. Враховуючи те, що карбідоутворюючі елементи, якщо їх розмістити на поверхні, можуть змінити структуру поверхневого шару, проводили дифузійне поверхнєве насичення високоміцного чавуну V, Cr, Ti в порошкових сумішах вмістом у %: FeCr – 16,5; FeV – 16,5; FeTi – 16,5; Al₂O₃ – 48; NH₄C – 2 (FeV – 42,22 % V, FeCr – 68,49 % Cr; FeTi – 70,33 % Ti). Насичення зразків проводили в алітованих контейнерах із вуглецевої сталі Ст3, герметизацію досягали плавким затвором після розплавлення часток віконного скла. Нагрів контейнерів проводили в лабораторній електричній печі при температурі 800, 900 і 1000 °С з витримкою протягом 5 годин, а потім охолодження з піччю.

Дослідження мікроструктури показало, що після насичення при 800 °С поверхневий карбідний шар має товщину 2 мкм і є не суцільним, він відсутній в місцях розміщення фериту та часток графіту.

Після насичення при 900 °С товщина карбідного шару збільшилась до 3 мкм, але він також був не суцільним. Тільки після насичення при 1000 °С поверхневий шар карбідів став суцільним, його товщина збільшилась до 4–5 мкм.

Звертає увагу на себе той факт, що поверхневий карбідний шар після насичення при 1000 °С має хвилеподібний вигляд з амплітудою в межах 0,3–0,5 мкм. Крім того, він розміщується на перлітній основі, що підвищує його конструктивну міцність. Поверхневий карбідний шар подібної форми може бути створений за такою схемою.

При нагріванні початкової структури вище Ас₁ перлітні зерна перетворюються в аустенітні, на їх поверхні виникає тонкий шар карбідів. При цьому в місцях виходу на поверхню фериту та графіту карбіди не утворюються. При подальшому нагріванні, коли ферит перетворюється в аустеніт, на поверхні його зерен також виникає шар карбідів, який буде тоншим від попередньоствореного. При високій температурі і значній витримці за рахунок дифузії шар карбіду створюється також на розташованих на поверхні частках графіту. Цей шар карбіду буде найтоншим. Таким чином, нерівномірність шару карбідів на поверхні дослідженого чавуну обумовлена його початковою поверхневою ферито-перлітною структурою до насичення.

Перлітна зона під поверхневим шаром карбідів виникає внаслідок дифузії вуглецю з внутрішньої структури. Це пов'язано з тим, що після створення тонкої плівки першого шару карбідів подальше збільшення товщини карбідного шару проходить за рахунок дифузії вуглецю через уже створений карбідний шар та взаємодії його з карбідоутворюючими елементами залежно від їх спорідненості з вуглецем. На постачання вуглецю з внутрішньої частини металу впливають два фактори: швидкість дифузії вуглецю, яка обумовлена активністю карбідоутворюючих елементів, і швидкість дифузії вуглецю в аустеніті, пов'язана з температурою процесу. Якщо швидкість дифузії вуглецю в аустеніті нижча за швидкість, яка обумовлена швидкістю дифузії вуглецю від взаємодії карбідоутворюючими елементами, то біля поверхневого карбідного шару можливе утворення маловуглецевої феритної зони. Вона зникає, коли підвищується температура процесу, а разом з цим – швидкість дифузії вуглецю в аустеніті. Постачання вуглецю з внутрішньої частини металу приводить до збільшення його в аустеніті біля поверхневої зони. При охолодженні аустеніт перетворюється в перліт.

Створена диференційована структура на поверхні високоміцного чавуну може бути особливо привабливою для виробів, які експлуатуються в умовах граничного тертя. Підшипникові втулки після такої обробки будуть здатні затримувати мастило у впадинах, а обертання вала по вершинах виступів значно зменшить коефіцієнт тертя.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВОВ

Заславский А. М.¹, Капитан А. В.²
(¹ НАУ, г. Киев, Украина; ² ЗМА, г. Запорожье, Украина)

Значительное влияние на эксплуатационные характеристики многокомпонентных сплавов оказывает их микроструктура. Использование при получении сплавов сверхскоростных методов охлаждения позволяет формировать в них необычные структурные состояния, обладающие, зачастую, целым комплексом уникальных свойств. Образующиеся в многокомпонентном расплаве в предликвидусной температуре многоатомные кластеры являются прообразами фаз, существование которых возможно и в твердом состоянии.

При высокой скорости охлаждения (10^5 – 10^7 К/с) в расплаве образуются высокодисперсные кристаллы. За счет избыточной поверхностной энергии кристаллов изменяются значения химических потенциалов этих компонентов и условия термодинамического равновесия фаз. В сплавах происходит закалка высокотемпературных состояний, таких как многоатомные интерметаллиды или пересыщенные твердые растворы.

Высокая степень дисперсности этих структур делает невозможной их идентификацию методом рентгенографии, что нарушает целостное представление о фазовом составе быстроохлажденных образцов. Применение методов электронографии, дифракционной электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа позволяет расширить информацию о локальном фазовом и химическом составе объектов.

Важнейшую роль при формировании микроструктуры быстроохлажденных сплавов играют и кинетические факторы: активационные барьеры диффузионных процессов и коэффициенты диффузии отдельных атомов, а также их группировок. Формирование многоатомных структур с дальним порядком, в случае если их кластеры не образуются еще на этапе расплава, требует определенного времени диффузионного упорядочения в кристаллической подрешетке. Высокая скорость охлаждения может препятствовать завершению протекания процессов упорядочения с образованием идеального дальнего порядка в больших по протяженности кристаллических объектах. С другой стороны, действие кинетических факторов приводит к стабильности закаленных высокодисперсных состояний, остающихся неизменными до тех пор, пока внешним энергетическим воздействием не будет преодолен активационный барьер процессов, ведущих к укрупнению кристаллов и изменению условий термодинамического равновесия фаз.

Очень важным для понимания совокупности всех факторов, определяющих конечную микроструктуру быстроохлажденных сплавов, является тот факт, что высокая скорость охлаждения не остается таковой на протяжении всего процесса. С течением времени она существенно замедляется, особенно во внутренних зонах образца. Вызвано это уменьшением температурного градиента и выделением теплоты кристаллизации. При снижении температуры образца до значения, соответствующего перегибу на кривой охлаждения для данной системы, в нем кинетически становится возможным формирование фаз, находящихся на соответствующем этой температуре сечении диаграммы состояния

Таким образом, конечная микроструктура быстроохлажденных сплавов является суперпозицией нескольких температурных состояний системы, возможность реализации которых определяется кластерной структурой расплава, скоростью охлаждения, термодинамическим и кинетическими факторами, кристаллохимической сложностью образующихся структур. Изучение ближнего порядка в расположении атомов компонентов в расплавах имеет несомненный практический интерес, поскольку при выборе оптимального химического состава методом сверхбыстрой закалки становится возможным получать образцы, представляющие собой гомогенную интерметаллидную фазу, находящуюся в высокодисперсном состоянии, а, следовательно, обладающую изотропией свойств.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ

Иванова Л. Х., Ивонин И. В.
(НМетАУ, г. Днепрпетровск, Украина)

С целью отработки промышленной технологии изготовления прокатных валков из чугуна, модифицированного лигатурой КМг9, в промышленных условиях были отлиты две опытные партии валков исполнения СШХН-50 и ЛШ-41 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав материала прокатных валков

Номер партии	Исполнение валков	Номер валка	Размеры бочек валков, м	Содержание химических элементов, %							
				C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mg
А	СШХН-50	40391	0,46x1,016	2,88	1,66	0,64	0,19	0,02	0,29	1,16	0,03
Б	ЛШ-41	26529	0,485 x 1,1	3,10	1,87	0,53	0,16	0,02	-	-	0,04

Микроструктура чугуна рабочего слоя валков исполнений СШХН-50 и ЛШ-41 характеризовалась наличием двух эвтектик – цементитной и графитной. Цементитная эвтектика была представлена грубодифференцированным ледебуритом, графитные же включения имели шаровидную форму с фактором 0,84–0,88. Металлическая матрица состояла из перлита разной дисперсности и феррита. С удалением от литой поверхности валков увеличивалось количество графита и перлита и уменьшалось количество цементита и феррита.

Предел прочности при изгибе чугуна рабочего слоя валка исполнения СШХН-50 был выше, чем у материала валка исполнения ЛШ-41 (табл. 2). Аналогичную зависимость имел и показатель твердости исследуемых валковых чугунов. Непоказательной оказалась зависимость ударной вязкости от содержания легирующих элементов в чугунах: все значения ее укладывались в интервал $0,10-0,20 \times 10^5$ Дж/м². Уровень остаточных напряжений в валках исполнения ЛШ-41 был на 33 % ниже, чем в валках исполнения СШХН-50.

В результате проведенных исследований была разработана технология литья прокатных валков из комплексномодифицированных чугунов.

Таблица 2

Исследованные свойства материала прокатных валков

Номер валка	Расстояние от поверхности бочки валка, мм	Свойства					Остаточные напряжения σ_t , МПа
		Твердость НВ	Предел прочности σ_p , МПа	Предел прочности $\sigma_{в, изг}$, МПа	Ударная вязкость $a_k \times 10^5$, Дж/м ²	Модуль упругости E, МПа	
40391	5	391	300	410	0,10	178 500	75
	10	359					
	15	359					
	20	359	350	450	0,18		
	25	359					
	30	359					
26529	5	278	310	400	0,15	172 000	50
	10	262					
	15	262					
	20	255	340	430	0,20		
	25	-					
	50	248					

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЕРОГО ЧУГУНА ДЛЯ МОНТАЖА ПОДОВЫХ СЕКЦИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

Иванов В. Г., Сажнев В. Н., Лунев В. В.
(ЗНТУ, г. Запорожье, Украина)

Производство алюминия является одним из наиболее энергоемких технологий современной металлургии. Доля электроэнергии в себестоимости алюминия составляет более 40 %. Поэтому повышение эффективности работы алюминиевых электролизеров и снижение бесполезных потерь электроэнергии остается актуальной задачей. Особенно большие потери наблюдаются в катодном устройстве алюминиевого электролизера, которые в значительной мере зависят от качества электрического контакта между токоотводящими стальными бломсами и подовыми углеродистыми блоками. Электрический контакт между стальными бломсами и углеродистыми блоками может осуществляться двумя методами: заливкой жидким чугуном и посредством заделки угольной массой. Первый

метод получил наиболее широкое распространение благодаря простоте технологических приемов монтажа. Основной недостаток такого метода — термомеханические напряжения, способные привести после охлаждения чугуна к деформации стержня и растрескиванию блоков, что непременно приведет к увеличению электрического сопротивления контакта «сталь — чугун — углеграфит», снижению его надежности и долговечности и, в конечном итоге, к увеличению энергоемкости электролиза алюминия. Поэтому совершенствование технологических параметров плавки и заливки чугуна является важной задачей повышения качества монтажа подовых секций алюминиевых электролизеров.

Показано, что для обеспечения высокой надежности и долговечности электрического контакта «сталь — чугун — углеграфит» при долговременной высокотемпературной эксплуатации алюминиевого электролизера необходимо стремиться к получению однородной структуры серого чугуна без отбела. Поэтому обязательной операцией при плавке чугуна должен быть оперативный контроль металла по ходу плавки на отбеливаемость по специально разработанной пробе.

Установлено, что высокие и стабильные служебные свойства чугуна определяются не только оптимальным химическим составом (масс. доля, %: 3,6–3,8 С; 2,6–3,0 Si; 0,3–0,5 Mn; 0,04–0,10 Cr; не более 0,5 P и 0,05 S), но и, в значительной степени, формой, распределением и размерами графитовых включений. Для измельчения графитовых включений, улучшения их формы и повышения однородности структуры и свойств чугунной заливки, дальнейшего повышения надежности и долговечности электрического контакта «сталь — чугун — углеграфит» необходимой операцией является графитизирующее модифицирование жидкого чугуна (ФС, МК-21 и др.).

Как показали исследования, температура заливки чугуном холодных подовых углеграфитовых секций должна быть в пределах 1280–1320 °С. При такой температуре обеспечивается хорошая заполняемость тонкостенного пространства между стальным блюмсом и стенками углеграфитового блока, не приводящая к его растрескиванию.

Специальными исследованиями на моделях подовых блоков установлено, что предварительный подогрев углеграфитовых форм и стального стержня перед заливкой до 200–250 °С существенно уменьшает или исключает растрескивание подового блока и позволяет улучшить качество монтажа. Подогрев может осуществляться различными способами, как с использованием газовых горелок, так и с использованием электроразогрева.

Промышленное опробование результатов исследований в условиях ОАО «Запорожский производственный алюминиевый комбинат» позволило повысить качество и эксплуатационную надежность литого электрического контакта в подовых блоках электролизеров.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ С ВВОДОМ В РАСПЛАВ ПЕРЕД ВЫПУСКОМ МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ШИХТЫ

Иванов Г. А., Скребцов А. М., Кузьмин Ю. Д.
(ИГТУ, г. Мариуполь, Украина)

Давно известно влияние природы шихты при выплавке металла на качество готовой металлопродукции. Суть этого способа заключается в следующем. Например, исходная шихта плавки обладает определенной структурой металла (мелкокристаллической, крупнокристаллической или промежуточной и т. п.). После ее расплавления и не слишком высокого перегрева над линией ликвидуса затвердевший металл приобретает исходную структуру шихты (явление «наследственности»). Однако в литературе известны также пока не полностью объяснимые случаи «отрицательной» наследственности, когда исходная мелкокристаллическая шихта приводит к крупному зерну в отливке и наоборот.

Наследственностью шихты в разное время занимались многие ученые: Ю. А. Нехензи, Н. Г. Гиршович, В. И. Никитин и др.

Исследователей и производителей интересуют вопросы механизма передачи свойств в цепи: исходная шихта – расплав – готовая металлопродукция. Кроме этого, часто в производстве при исходной крупнокристаллической шихте структуру готовой металлопродукции улучшают путем ввода в расплав перед выпуском его из плавильной печи небольших добавок специально изготовленной мелкокристаллической шихты (по терминологии Б. Ф. Трахтенберга – «модификаторы III рода»).

В производстве при легировании металла во время его плавки часто используют чушки лигатур с традиционной крупнокристаллической структурой; последнее может привести к наследственно крупному зерну в отливке. Для его измельчения существуют различные способы, например: термическая обработка отливок, ввод в расплавленный металл перед выпуском некоторого количества мелкокристаллической шихты и т. д. Поэтому в литературе среди других сформулирована актуальная задача по «определению оптимальных доз мелкокристаллических модификаторов», которые обеспечили бы образование мелкого зерна в отливке.

В работе отмечается, что «чем мельче зерно, тем лучше механические свойства металлов и сплавов, больше предел упругости, предел прочности и ударная вязкость».

В настоящей работе была поставлена задача – на примере выплавки одной из марок стали 20ГЛ (ГОСТ 917-88) изучить влияние малой добавки мелкокристаллической шихты в расплав на улучшение качества легированной стали.

Разработанная нами опытная технология выплавки стали 20ГЛ с добавкой мелкокристаллической шихты в жидкий расплав перед выпуском его из печи приводит к улучшению микро- и макроструктуры металла, а также его механических свойств, особенно ударной вязкости, которая повысилась с 59 до 83 Дж/см².

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СВАРНЫХ ШВОВ

Кабацкий В. И., Кабацкий А. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При разработке сварочных материалов с высокопрочным низколегированным металлом сварных швов основным направлением в отношении эксплуатационных характеристик сварных швов считается достижение оптимального сочетания механических свойств металла швов и стойкости против холодных трещин металла шва в частности и сварных соединений в целом. В докладе рассматриваются вопросы оптимизации механических характеристик нетермообрабатываемого низколегированного металла сварных швов.

Практика исследований различных авторов показывает, что решение поставленной проблемы непосредственно взаимосвязано с достижением улучшения структуры наплавленного металла. В ряде работ отмечается, что наиболее благоприятной микроструктурой, как в отношении прочности, так и вязкости, является игольчатый феррит благодаря малым размерам зерен (1–3 мкм), а также большим углам их разориентировки (более 20°).

Одним из наиболее важных факторов, определяющих особенности $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения в металле низколегированных сварных швов, является морфология и характер распределения неметаллических включений, образующихся при охлаждении металла. Имеются достаточно весомые предположения, что стимулирование образования в металле сварных швов мелкодисперсной нитридной фазы позволяет управлять, инициировать внутризеренное зарождение игольчатого феррита.

Сопоставление размеров кристаллических решеток феррита и некоторых нитридов показывает, что у нитридов титана и ванадия линейное расхождение достаточно мало, тогда как у нитридов циркония и алюминия оно значительно, т. е. зерна игольчатого феррита могут, по-видимому, эпитаксиально формироваться на нитридных включениях ванадия. Из сказанного следует, что предпочтительным является управление характеристиками структуры металла посредством добавок титана и ванадия как элементов, способствующих увеличению числа центров зарождения игольчатого феррита.

В продолжение приведенных данных исследовалось влияние модифицирования металла сварных швов азотом и ванадием на их структуру и свойства. Металлографическое изучение микроструктуры сварных швов показало, что совместное введение в металл азота и ванадия существенно стимулирует измельчение первичных кристаллитов. Вторичная структура таких швов представляет собой смесь структурных составляющих, состоящую из нижнего бейнита и игольчатого феррита с преобладанием последнего (до 70–80%). Анализ неметаллических включений показывает, что при совместном модифицировании азотом и ванадием в наплавленном металле наблюдается равномерное распределение включений, а также их измельчение.

Таким образом, исследования показывают, что управление характеристиками структуры металла посредством добавок азота и ванадия является одним из перспективных способов при определении оптимальной легирующей основы металла сварных швов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМОЛ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Каратеев А. М., Пономаренко О. И., Евтушенко Н. С.,
Литвинов Д. А., Тищенко А. Н., Накурда О. И.
(НТУУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Одним из перспективных методов получения форм и стержней в литейном производстве является использования для их изготовления самоотвердеющих смол холодного отверждения в оснастке в присутствии жидких катализаторов или отвердителей.

Химически твердеющие смеси находят все более широкое применение в литейном производстве для получения форм и стержнем, как в серийном, так и в массовом производстве отливок. Использование таких смесей вносит весьма ощутимые положительные изменения в технологический процесс отливок — снижает трудоемкость, повышает точность стержней и форм, а соответственно и отливок, освобождаются производственные площади, занятые сушильными печами, повышается общая культура труда в литейном цехе. Эти смеси можно использовать при изготовлении форм и стержней при получении отливок из стали, чугуна или цветных металлов.

Кроме того, они обладают высокой прочностью при малом расходе (1–2 %), возможностью регулирования прочности и скорости отвердевания в большом диапазоне.

На кафедре полимерных композиционных материалов и покрытий совместно с кафедрой литейного производства НТУ «ХПИ» разработано новое экологическое связующее. Новое олигомерное связующее представляет собой подвижную жидкость темно-коричневого цвета, которая отверждается под действием кислотных отвердителей. Это связующее не имеет в своем составе ядовитых либо отравляющих веществ типа мочевинофеноло-альдегидных смол, которые изначально имеют в своем составе фенолы и альдегиды и выделяют их при термической деструкции связующих при заливке формы расплавленным металлом. Новое связующее выделяет при заливке металла в форму в результате термической деструкции в атмосферу CO_2 и пары H_2O и образуется твердый неорганический остаток SiO_2 , который можно использовать повторно.

Живучесть смеси находится в интервале 5–15 минут, время живучести можно регулировать количеством используемых компонентов.

Прочность на сжатие в зависимости от времени приведена в таблице 1.

Таблица 1

Прочность на сжатие, МПа

Время выдержки в минутах					
0*	15	30	60	180	24 час
0,49-0,51	1,16-1,35	1,6-2,0	2,5-2,7	3,0-3,1	3,5-4,0

* Прочность после извлечения из гильзы, в которой образец находился в течение 10 минут.

Кроме того, были исследованы смеси на газотворную способность, влажность, газопроницаемость, осыпаемость, огнеупорность и выбиваемость. Газотворная способность находится в пределах 12,0–15 см³/г, осыпаемость – 0,1–0,5 %. Прилипаемость смеси к стержневому ящику и пригар минимальны. Отливка без выбивки извлекается из литейной формы, стержень в процессе заливки и охлаждения полностью или частично разрушается.

Апробация смесей производилась на опытном заводе НТУ «ХПИ», на предприятиях Энергоспецсталь (г. Краматорск), Донецко-Кураховский литейный завод, ОАО «Турбоатом» (г. Харьков), ВАТ «Верстатзавод» (г. Мукачево) и др.

НОВЫЙ СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Козоброд Д. Б., Фесенко А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Технология литья по моделям из пенополистирола получила признание во всем мире как прогрессивный процесс изготовления литых деталей в соответствии с современными требованиями.

Основным и определяющим этапом технологии является изготовление пенополистироловых моделей.

Различают пять основных способов окончательного вспенивания гранул в пресс-формах: ванный (в кипящей воде), автоклавный (в среде перегретого пара), теплового удара (непосредственное введение теплоносителя, обычно перегретого водяного пара, в пресс-форму), токами высокой частоты и в потоке пара. Многообразие способов изготовления моделей свидетельствует о недостаточной надежности каждого из них и ограниченной их применимости.

Исследовав явление потока применительно к технологическим процессам, пришли к выводу об интенсификации процессов (в частности, процессов теплообмена) после приведения технологической среды в состояние потока.

Исследовали использование кипящей воды как наиболее доступного вещества в качестве технологической среды, в которой изготавливали модели из пенополистирола.

Наиболее прост в эксплуатации ванный метод изготовления моделей. Формообразование моделей происходит во время выдержки пресс-формы с гранулами пенополистирола в кипящей воде. На окончательное время изготовления моделей влияет материал и толщина стенок пресс-формы. Модели получают практически однородной структуры и удовлетворительного качества поверхности. Тем не менее, продолжительность процесса

очень значительна, в особенности при изготовлении крупногабаритных моделей. Этот метод из-за малой активности носителя теплоты оправдывает себя лишь при изготовлении фасонных тонкостенных изделий.

Значительного повышения качества моделей можно достичь, если пресс-форму, заполненную гранулами пенополистирола, поместить в емкость с кипящей водой, которая находится в состоянии кругооборота.

В таких условиях с объекта, который обогревается (пресс-форма с пенополистиролом), смывается слой технологической среды («холодная» рубашка), который образовывается на поверхности пресс-формы — «холодного» объекта в момент контакта с нагретой водой. Этот слой жидкости имеет теплофизические показатели ниже, чем основная ее масса, и поэтому тормозит передачу теплоты от нагретой воды к пресс-форме и гранулам пенополистирола. Удаление этого слоя жидкости с поверхности пресс-формы повышает эффективность действия теплоты на объект, который обогревается благодаря непосредственному контакту с технологической средой. Это сокращает время на изготовление модели в сравнении с ванным методом, независимо от габаритов пресс-форм и их совокупности в едином технологическом цикле, при этом происходит равномерное обогревание гранул и потому рост их протекает синхронно во всем объеме пресс-формы. В таких условиях обеспечивается изготовление качественных моделей широкой номенклатуры при почти одинаковом времени процесса.

Простота конструкции устройства для изготовления пенополистироловых моделей, названного термогидродинамической установкой, и его реализация в производстве повышает эффективность технологии и понижает энергетические затраты, что позволяет рекомендовать данный способ для широкого применения на производстве.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕССА, ВЛИЯЮЩИЕ НА ГОРЕНИЕ КОКСА В ВАГРАНКЕ

Конончук С. В., Скрипник А. В., Сабирзянов Т. Г.
(КНТУ, г. Кировоград, Украина)

Как известно, литейное производство и металлургия являются основными поставщиками сырья и готовой продукции для других отраслей народного хозяйства.

Важное место в литейном производстве занимает вагранка как наиболее распространенный чугуноплавильный агрегат литейных цехов.

Несмотря на уважительный возраст ваграночного процесса, существуют резервы работы вагранки. Одним из недостатков ваграночного процесса является наличие в колошниковом газе угарного газа CO , что свидетельствует о химическом недожоге кокса и значительных потерях теплоты.

Поэтому одной из нерешенных проблем ваграночного процесса является расчет горения углерода кокса в вагранке с учетом таких параметров её работы, как количество и химический состав кокса, расход дутья и содержание в нем кислорода.

Нами установлено, что основным параметром, влияющим на полноту горения углерода кокса в вагранке согласно реакции $C + \alpha O_2 = 2(1 - \alpha) CO + 2(\alpha - 0,5) CO_2$, является коэффициент избытка воздуха α , который для ваграночного процесса может изменяться в пределах $0,5 < \alpha < 1,0$. В свою очередь, коэффициент избытка воздуха зависит от таких параметров ваграночного процесса, как относительный расход кокса, его химический состав, удельный расход дутья, температура дутья, содержание в нем кислорода.

На основании анализа литературных, а также экспериментальных производственных данных нами получены адекватные зависимости коэффициента избытка воздуха от относительного расхода кокса, его химического состава, удельного расхода дутья, его температуры, содержания в дутье кислорода, которые могут быть использованы при расчетах горения кокса, материального и теплового балансов ваграночной плавки, а также при построении математической модели ваграночного процесса.

Кроме того, анализ процесса горения кокса в вагранке показал возможность устранения химического недожога углерода кокса, что улучшает экологические, санитарно-гигиенические и экономические показатели процесса плавки. Разработана новая конструкция коксовой вагранки, позволяющая устранить химический недожог кокса и тем самым снизить относительный расход кокса (минимальный теоретический удельный расход кокса при применении холодного, необогащенного кислородом дутья составляет ~ 6 % от массы металлозавалки).

Полученные зависимости позволили для вагранок кировоградских предприятий «Красная звезда» и «Сахгидромаш» разработать рекомендации по уменьшению расхода кокса, повышению производительности вагранки и температуры чугуна на выпуске без дополнительных капиталовложений с ожидаемым экономическим эффектом 486 тыс. долл. США.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВНЫХ СИЛ ТРЕНИЯ

Косенко М. В., Нагорская И. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В последние годы в машиностроении наблюдается тенденция в повышении сложности формы внутренней и внешней поверхностей выпускаемых деталей. Использование традиционных технологий при их изготовлении не дает ожидаемого экономического эффекта, поскольку требует

большого количества технологических переходов, а применение ресурсо- и энергосберегающих технологий переносит решение поставленной задачи на более высокий технический уровень и способствует уменьшению материальных затрат. При этом холодное объемное выдавливание является эффективным технологическим методом изготовления деталей и заготовок сложной формы с высокой точностью размеров и качеством поверхности.

Одним из наиболее эффективных направлений решения данной проблемы является поиск и освоение новых схем деформирования, которые дают возможность снизить давление и усилие формообразования деталей. К таким процессам можно отнести выдавливание в разъемных матрицах, подвижных матрицах, выдавливание с противодавлением, применением активных сил трения, двусторонним выдавливанием, которые также позволяют повысить качество полученных изделий, сложность, как наружного, так и внутреннего профиля, а, следовательно, расширяют технологические возможности процессов выдавливания.

Однако большинство таких процессов недостаточно исследованы и требуют научного обоснования их применения при изготовлении деталей сложной формы. Наиболее изученным технологическим способом является выдавливание с использованием активных сил трения. Наиболее подробно в технической литературе описаны схемы деформирования, когда происходит свободное или принудительное перемещение матрицы вниз или вверх, но их применение ограничивается получением полых цилиндрических деталей. Изготовление полых конических деталей, которые находят все большее применение, с использованием активных сил трения является малоизученной областью и требует в первую очередь обоснования энергосиловых и формообразующих параметров технологического процесса.

Прямо-обратное выдавливание или комбинированное выдавливание сдвигом является тем способом применения активных сил трения, при котором не требуется изучения кинематики движения матрицы, а суть процесса заключается в следующем. Заготовку, имеющую коническую форму помещают в коническую матрицу, в которой верхний торец заготовки находится в одной плоскости с верхним торцом матрицы, и совершается процесс деформирования путем вдавливания конусного пуансона в верхний торец заготовки. В процессе деформирования заготовка одновременно испытывает обжатие боковой поверхности, со стороны стенок матрицы, двигаясь в ней в направлении движения пуансона и внедрения пуансона в верхний торец заготовки, что способствует образованию стенки стакана. По достижении нижним торцом заготовки дна матрицы начинается процесс обратного выдавливания, который позволяет откалибровать дно детали.

Наибольший интерес представляет связь коэффициентов трения на матрице и пуансоне, так как они являются управляющими параметрами в процессах с использованием активных сил трения. Для определения их влияния были проведены математические эксперименты на основе

метода конечного элемента и исследования на натуральных образцах. Вследствие чего было установлено, что коэффициент трения на матрице в большей степени оказывает влияние на формоизменение, чем на характер изменения приведенного давления деформирования, а коэффициент трения на пуансоне в большей степени влияет на силовые характеристики, чем на формообразование.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПРЕЙЕРНОЙ ЗАКАЛКИ КРУПНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Лаптев А. М.¹, Захарчук С. С.¹, Вейнов А. М.², Плугатарь С. И.²

(¹ ДГМА, г. Краматорск, Украина;

² ОАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Одной из наиболее эффективных технологий высокоскоростной закалки крупных прокатных валков является спрейерная закалка. Ее суть состоит в подаче на поверхность нагретого валка охладителя посредством специальных душирующих форсунок. В качестве охладителя могут применяться вода, воздух или водовоздушная смесь. В процессе спрейерной закалки возникают высокие градиенты температуры по сечению и длине валка, влияющие на распределение структур и твердости в изделии. Учитывая жесткие требования к эксплуатационным характеристикам прокатных валков, включающие в первую очередь высокую износостойкость и твердость контактной поверхности, необходимо правильно определять кинетику изменения температуры в изделии во время охлаждения. Целью работы является создание метода для определения градиентов температур в теле прокатного валка при его закалке на спрейерной установке и прогнозирования получаемых структур.

Для решения поставленной задачи использован метод конечно-элементного моделирования. С помощью универсального конечно-элементного пакета ANSYS решалась осесимметричная задача теплопроводности с граничными условиями 3-го рода [1]. В процессах высокоскоростного охлаждения, к которым относится спрейерная закалка, основным механизмом отвода теплоты с поверхности изделия является конвективный теплоперенос. Коэффициенты конвективного теплопереноса h для различных условий охлаждения найдены методом инверсионного моделирования, который включает в себя замер температуры на поверхности валка с помощью пирометра и последующий подбор коэффициента h так, чтобы температуры, полученные при замере, и результаты моделирования были близки по значению. Из-за плотного облака пара, образующегося в процессе охлаждения на спрейерной установке, такие замеры

возможны лишь в процессе остывания валка после спрейерной закалки (отогрев). Вместе с тем, характер изменения температуры поверхности валка при отогреве полностью определяется условиями предшествующей термообработки и поэтому может служить основой для определения коэффициента конвективного теплопереноса при закалке.

В условиях Новокраматорского машиностроительного завода с помощью разработанного метода определены коэффициенты конвективного теплопереноса при спрейерном охлаждении различной интенсивности и рассчитано распределение температуры по сечению изделий, как на этапе закалки, так и на этапе последующего охлаждения для прокатных валков различных типоразмеров и массой до 40 тонн из сталей 90ХФ и 70ХЗГНМФ. Кривые охлаждения в характерных точках валков были наложены на изотермические и термокинетические диаграммы распада аустенита. В результате были найдены распределения структуры, твердости и глубина закаленного слоя.

Результаты моделирования находятся в хорошем соответствии с опытными данными Новокраматорского машиностроительного завода, как по глубине закаленного слоя, так и по характеру получаемых структур. Это позволяет рекомендовать разработанную методику и программы для дальнейшего использования на предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Моделирование температурного поля при спрейерной закалке крупных прокатных валков / А. М. Лаптев, С. С. Захарчук, А. М. Вейнов, С. И. Плугатарь, М. В. Протеняк ; под ред. И. М. Неклюдова, В. М. Шулаева // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов : сборник докладов IX Международного научно-технического конгресса термистов и материаловедов. – Харьков : НТЦ «ХФТИ», 2008. – Т. 2. – С. 326–329.*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОСВЕННОГО СИНХРОНИЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ ОТЛИВКИ В ФОРМЕ НА ТОЧНОСТЬ СИНХРОНИЗАЦИИ

Лысенко Т. В., Носенко Т. И., Становский А. Л.
(ОНПУ, г. Одесса, Украина)

Рассмотрим объект управления в виде системы «песчаная литейная форма – отливка». Целью управления пусть является некоторое заданное качество отливки K_0 , а управляющим воздействием – внешнее контролируемое влияние на систему. Примером такого объекта может служить распложенная в контейнере с засыпкой залитая сталью песчано-смоляная форма при принудительной аспирации газов из контейнера с интенсивностью w .

Поскольку показатели качества отливки не могут быть измерены до окончания процесса (по крайней мере, до выбивки), а возмущения не измеряются вообще, управление охлаждением отливки в форме может быть только разомкнутым.

Заполненная металлом литейная форма как объект управления обладает высокой инерционностью. Это позволяет отнести ее к динамическим объектам, описываемым интегральными или дифференциальными уравнениями. Особенно ярко этот эффект проявляется при организации синхронизирующего управления охлаждением отливки в форме. Математическая модель процесса состоит из моделей, как минимум, двух подпроцессов, события в которых синхронизируются, а все недостатки, вытекающие из неточности моделей, могут многократно усиливать друг друга.

В результате разомкнутое синхронизирующее управление оказывается в той или иной степени неэффективным.

Для устранения этого недостатка разобьем период синхронизации ($\tau_0 \rightarrow \tau_{\text{спасч}}$) на две итерации, продолжительность которых устанавливается АСУ. На границе итераций τ_1 по данным реальных измерений косвенных переменных T и P осуществляется корректировка расчетных моделей: вводятся новые исходные данные, соответствующие значениям параметров к концу предыдущей итерации. С этого момента время синхронизации как бы вновь отсчитывается от нуля.

В этом случае интервал десинхронизации существенно уменьшается, хотя расчетное время синхронизации становится «плавающим» от итерации к итерации. Однако чрезмерное уменьшение продолжительности второй итерации опасно тем, что при неудачно выбранном τ_1 доступного управления может оказаться недостаточно, чтобы решить задачу синхронизации в оставшееся время.

Поскольку вторая итерация начинается, по-существу, «с нуля», расчет управления для первой итерации становится ненужным. Единственной причиной, по которой этот расчет все-таки необходим, является то обстоятельство, что правильно выполненный на первой итерации расчет позволяет как можно на большее время оттянуть начало второй итерации, обеспечивая доступность управления, что, в итоге, снижает погрешность двухитерационного расчета в целом.

Таким образом, важным решением системы синхронизирующего управления является выбор времени начала второй итерации. Раннее начало приведет к большому интервалу десинхронизации, а позднее к тому, что синхронизация за счет доступного управления станет вообще невозможной.

Таким образом, задача АСУ при таком управлении распадается на три подзадачи:

- найти синхронизирующее управление u_1^* для первой итерации;
- найти время окончания первой и начала второй итерации;
- найти синхронизирующее управление u_2^* для второй итерации.

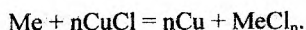
В общем случае количество последовательных итераций косвенного синхронизирующего управления может быть и больше двух.

ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОРОШКОВОЙ ПЛЮЩЕНКОЙ. РАЗРАБОТКА ШЛАКОВОЙ СИСТЕМЫ

Макаренко Н. А., Кошевой А. Д., Грановский Н. А.,
Богущий А. А., Куций А. М.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Общей проблемой для автоматической наплавки литейных алюминиевых сплавов являются наплавочные материалы. Большинство литейных алюминиевых сплавов представляют собой силумины. Содержание кремния в этих сплавах может достигать до 19 %. Так, поршни двигателей тепловоза ЧМЭ-3 чехословацкого производства содержат более 17 % кремния. При таком высоком содержании кремния изготовить проволоку сплошного сечения, предназначенную для наплавки, невозможно (в силу хрупкости исходного материала).

Разработана порошковая плющенко для плазма-МИГ наплавки изделий из силумина. Низкая механическая прочность алюминиевой оболочки не оказывает влияния на процесс изготовления порошковой плющенко. В тоже время порошковая плющенко имеет недостаточную механическую прочность и легко сминается подающими роликами, как и порошковая или ячеистая проволока. При смятии порошковой плющенко ролики подающего механизма начинают пробуксовывать, легко протирая алюминиевую оболочку и разрушают непосредственно порошковую плющенко. В связи с этим в состав шихты порошковой плющенко ввели легкоплавкий сплав CuCl-KCl эвтектического состава: CuCl – 67 % и KCl – 33 %. Температура плавления эвтектики – 130 °С. При прокатке порошковой плющенко после ее изготовления (с целью удаления остатков технологической смазки) сплав плавится, смачивая частицы порошкообразного сердечника порошковой плющенко, при этом в расплаве растворяются оксиды, находящиеся на поверхности частиц шихты, а также оксиды, находящиеся на внутренней поверхности алюминиевой оболочки порошковой плющенко. При этом тугоплавкие оксиды металлов (Al₂O₃, SiO₂) переходят в легкоплавкие соединения – оксихлориды. На поверхности частиц металла образуется защитный слой меди:



При остывании плющенко после прокатки эвтектика CuCl-KCl кристаллизуется, жестко связывая частицы шихты между собой и с алюминиевой оболочкой порошковой плющенко. Хлориды металлов (первой группы таблицы Менделеева) применяются во флюсах и электродных обмазках при сварке алюминия, применяются эти компоненты и в составах шихты порошковых проволок для плазма-МИГ наплавки. Связывание

частиц шихты между собой эвтектикой CuCl-KCl приводит к повышению жесткости порошкообразного сердечника и к увеличению стойкости порошковой плющенки к смятию роликами подающего механизма.

Важной проблемой при плазма-МИГ наплавке алюминиевых сплавов, как и при наплавке плавящимся электродом в среде инертных газов, является пористость водородного характера наплавленного металла. Применение в составе шихты порошковой плющенки фтористых соединений позволяет связывать водород в труднодиссоциируемое соединение HF . В то же время температура плавления фторидов достаточно высока. Температуры плавления фторидов существенно превышают температуру плавления алюминия и его сплавов, что при плазма-МИГ наплавке, сопровождающейся интенсивным перемешиванием ванны жидкого металла, приводит к образованию неметаллических включений в наплавленном металле. В связи с этим в состав порошковой плющенки вводился эвтектический сплав LiF-KF , содержащий 51 % LiF и 49 % KF и имеющий температуру плавления 478 °С. Экспериментально установлено, что в состав шихты порошковой плющенки целесообразно вводить 0,8–1,3 % сплава CuCl-KCl и 1,1–1,8 % сплава LiF-KF , при этом одновременное введение эвтектических сплавов CuCl-KCl и LiF-KF снижает количество неметаллических включений и пористость в наплавленном металле.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІКИ РЕАКЦІЙ ПОРОФОРІВ В АЛЮМІНІЄВОМУ РОЗПЛАВІ

Могилатенко В. Г., Гурія І. М., Малай О. І., Яблонський А. А.
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Пінометали – це новий клас матеріалів із незвичайним комплексом властивостей, що зумовлює його широке застосування практично в усіх галузях промисловості, які потребують зменшення ваги виробів, зокрема в автомобіле- та авіабудуванні.

Великий інтерес викликають дослідження піноалюмінію із закритими порами. Ця зацікавленість обумовлена тим, що піноалюміній, зберігаючи основні переваги вихідного матеріалу – корозійну стійкість, зварюваність, хорошу оброблюваність, високу питому міцність – набуває нових властивостей. Маса виробів із цього матеріалу не перевищує маси виробів з пластмас або дерева, при цьому вони не горючі, не токсичні, термо- і біостійкі, не руйнуються при дії паливно-мастильних речовин, розчинників, ультрафіолету і радіації, ефективно поглинають енергію удару, мають високий коефіцієнт звукопоглинання, знижену теплопровідність, оригінальний зовнішній вигляд. При потраплянні у воду плаває, не набухаючи, при дії відкритого вогню поступово розм'якшується.

Із підвищенням зацікавленості до піноалюмінію з закритими порами виникла необхідність у розробленні способів його виготовлення, які мали б однорідну пористу структуру. Технологічні процеси, засновані на обробленні розплавів пороутворювачами потенційно дешевші і більш прийнятні за рівнем домішок, ніж ті, що базуються на пресуванні порошку. На даний час найбільше застосування серед порофорів для спінювання алюмінієвих сплавів знайшов гідрид титану переважно завдяки високому вмісту в ньому водню, відповідності між температурою його розкладання та температурою плавлення сплавів, а також завдяки великій швидкості реакцій розкладання. Проте є потреба в порофорі зі стабільнішими характеристиками пороутворення, а також з економічної точки зору виникла необхідність у пошуку дешевшого порофору, ніж гідрид титану.

Надзвичайно багатообіцяючим альтернативним порофором для виготовлення піноалюмінію за допомогою ливарної технології є карбонат кальцію. Технологія плакування, що полегшує розподілення CaCO_3 в алюмінієвому розплаві, була запропонована дослідниками в Японії [1]. Хоча цей пороутворювач уже запатентовано [2, 3], проте його придатність для виробництва піноалюмінію ливарниками ще не була систематично оцінена.

Нами було досліджено термодинаміку та кінетику проходження реакцій розкладання порофорів (CaCO_3 та MgCO_3) в середовищі алюмінію. Для реакцій, які можливі в алюмінієвому розплаві при використанні в якості порофорів карбонатів кальцію та магнію, було розраховано зміни вільної енергії Гіббса. При цьому враховано, що реакція пороутворення багатостадійна. Розкладання порофору на складові CaO і CO_2 (MgO і CO_2) є первинною реакцією, після якої відбувається взаємодія газової складової з компонентами розплаву. В ідеальних умовах реакції проходять до кінця, отже при великій витримці в структурі піноалюмінію пор не буде, а будуть присутні карбіди кремнію та алюмінію.

Оскільки продукти реакції відводяться із зони реакції, то в реальних умовах криві вільної енергії Гіббса зміщуються вгору.

Враховуючи високу швидкість протікання реакцій та високу константу рівноваги сумарних реакцій, необхідно знайти умови, при яких реакції будуть іти достатньо повільно при введенні пороутворювача у розплав.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nakamura T., Gryloskurenko S. V., Sakamoto K., Byakova A. V., Ishikawa R. *Development of new foaming agent for metal foam. Mater Trans.* – 2002. – № 4. – P. 1191–1916.
2. Elliott J. C. *Method of producing metal foam. US Patent. No. 2.751.289 ; June 19.1956.*
3. Allen B. C., Mote M. W., Sabroff A. M. *Method of making foamed metal. US Patent. No. 3.087.807 ; April 30.1963.*

ВПЛИВ ФТОРЦИРКОНАТУ КАЛІЮ І НІТРИДУ ТИТАНУ НА КІНЕТИКУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЗАЕВТЕКТИЧНОГО СИЛУМІНУ КС740

Могилатенко В. Г., Євтушенко Н. С., Власюк І. А.

(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Досліджено вплив комплексу фторцирконату калію та дрібнодисперсних частинок нітриду титану на кінетику кристалізації заевтектичного сплаву КС740.

Розплав готували в муфельній печі типу СШОЛ. У якості металошхти використовували готовий заевтектичний силумін марки КС740, що містить 16,5–19,0 % Si, 1,8–2,4 % Cu, 0,7–1,2 % Mg, 0,6–1,0 % Mn, 1,1–1,7 % Ni, залишок – Al і 0,5 % Fe.

Отримували зразки вихідного сплаву, модифікованого K_2ZrF_6 та модифікованого сумішшю K_2ZrF_6 з TiN. Після розплавлення і доведення температури розплаву до 700–750 °С його модифікували. Фторцирконат калію K_2ZrF_6 у кількості 3 % від маси металу наносили на поверхню розплаву і витримували протягом 15 хв. Суміш K_2ZrF_6 + TiN (кількість нітриду титану – 7 % від маси флюсу) також витримували близько 15 хв.

Термічний аналіз заевтектичного силуміну марки КС740 проводили при нагріванні і охолодженні.

Для аналізу використовували хром ель-аломелеву термопару, яка встановлювалась в пробовідбірник, що являє собою графітовий тигель з товщиною стінки 1,5 мм, крізь отвір у якому проходить двоканальна алундова трубка. Для усунення перемикання електродів термопари рідким металом вимірювальний спай покривався захисним покриттям.

Для боротьби зі зростанням шумової компоненти експериментальних даних використовували спеціальні формули для чисельного диференціювання, що базуються на інтерполяційних поліномах [1].

Проводили диференціювання відфільтрованих кривих для одержання функцій $dT/d\tau$ та $d^2T/d\tau^2$.

При кристалізації заевтектичних силумінів першим починає виділятися первинний кремній. У вихідному сплаві це відбувається при температурі ~660 °С; у сплаві, модифікованому фторцирконатом калію, – при ~680 °С і у сплаві, модифікованому сумішшю фторцирконату і нітриду титану, – при ~690 °С. Тобто при додаванні модифікаторів сплав починає кристалізуватись при більш високих температурах. Це може бути пов'язано з появою нових центрів кристалізації.

Наступною кристалізується подвійна евтектика системи Al-Si. У вихідного сплаву температура кристалізації ~547 °С, у модифікованого фторцирконатом калію – ~576 °С і у сплаву, модифікованого сумішшю

фторцирконату і нітриду титану, $\sim 577^\circ\text{C}$, тобто евтектична точка зсувається у бік більшого вмісту кремнію.

У рівновазі з (Al) і (Si) можуть бути такі фази: Al_2Cu (Θ), Al_5FeSi (β), Mg_2Si (M), Al_3Ni (ϵ). При звичайних концентраціях третіх елементів ці фази утворюються у складі потрійних евтектик при $t = 576\text{--}525^\circ\text{C}$.

При температурі 550°C починає кристалізуватись наступна фаза, якою, за припущенням, можна вважати потрійну евтектику системи Al-Mg-Si (з участю M-фази (Mg_2Si)), оскільки теоретична температура її кристалізації 555°C .

При температурі 525°C кристалізується наступна фаза. Можливо, це потрійна евтектика системи Al-Cu-Si за участю Θ -фази (Al_2Cu). Теоретична температура кристалізації даної евтектики 525°C . Ймовірно, що це чотирикомпонентна евтектика системи Al-Cu-Fe-Si, яка містить β -фазу (Al_5FeSi). Температура її кристалізації дорівнює $\sim 520^\circ\text{C}$.

При температурі $\sim 500^\circ\text{C}$ починає кристалізуватись найбільш легкоплавка чотирикомпонентна евтектика, яка являє собою фазу Al-Cu-Mg-Si з участю Θ , M і Q ($\text{Al}_5\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6$) фаз, теоретична температура кристалізації якої складає $503\text{--}507^\circ\text{C}$. Припущення про кристалізацію фаз зроблені на основі роботи [2].

З графіків другої похідної температури від часу можна визначити інтервал кристалізації сплаву (вихідний – 130 с, модифікований фторцирконатом – 138 с, модифікований сумішшю фторцирконату та нітриду титану – 130 с). При застосуванні модифікатора збільшується інтервал кристалізації. Обробка розплаву нітридами привела до зменшення об'ємної частки первинного кремнію. При цьому кількість подвійної евтектики збільшилась, а багатокомпонентних евтектик – зменшилась.

Інтенсивність виділення кремнію у сплаві з нітридами при кристалізації менша, ніж у вихідному. Аналогічні зміни відбуваються і при кристалізації евтектик.

Нітриди впливають на всі структурні складові заевтектичних силумінів і приводять до зсуву евтектичних точок діаграми стану в бік із більшим вмістом кремнію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бялік О. М., Доній О. М., Голуб Л. В. Прогнозування властивостей металів і сплавів методом комп'ютерного термічного аналізу. – К. : Політехніка, 2005. – 116 с.
2. Белов Н. А., Авксентьева Н. Н. Анализ пятикомпонентных диаграмм состояния в области составов поршневых силуминов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2005 – № 4 – С. 47–56.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОЙ РАБОТЫ ФОРМОВОЧНОГО И ПЛАВИЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЙ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

Могилевцев О. А.

(ДГТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

Технологические процессы литейного производства имеют преимущественно дискретный характер, причем ритмы отдельных процессов, как правило, не совпадают. С другой стороны, цех должен работать как единое целое, а это возможно только при условии согласованной работы его отделений.

Разработан графо-аналитический метод проектирования и анализа согласованности работы формовочного и плавильного отделений литейного цеха с целью обеспечения оптимальной загрузки плавильно-заливочного оборудования, заливки форм в требуемом интервале температур металла и предотвращения остановок поточной литейной линии из-за несвоевременной подачи жидкого металла. Метод может быть использован при проектировании новых литейных цехов, анализе и оптимизации работы действующих цехов. Благодаря наглядности применение метода целесообразно также при обучении студентов и дипломном проектировании.

Сущность метода состоит в следующем. Вначале выбирают оптимальную вместимость разливочного ковша и количества заливаемых форм, исходя из условия сохранения заданного интервала температур на протяжении всего периода разливки металла с учетом скорости падения температуры металла в ковше. Затем рассчитывают и строят график в координатах «путь – время», предложенный П. И. Половинкиным [1]. Этот график отражает работу заливочного участка конвейера. Выбирают плавильно-заливочное оборудование и рассчитывают необходимое его количество по известным методикам [2, 3]. После этого строят циклограмму процесса плавки и разливки металла и график изменения его температуры во времени.

Циклограмма представляет собой совокупность графиков в координатах «время – масса жидкого металла» в одинаковом масштабе времени. Каждый график относится к определенному ковшу или плавильному агрегату и отражает изменение массы металла в нем в течение нескольких циклов плавки и разливки. Благодаря тому, что эти графики согласованы между собой, они позволяют проанализировать процесс, убедиться в его работоспособности и проверить правильность выбора и расчета оборудования.

На втором графике изображают изменение температуры металла от его выпуска из плавильной печи до заливки в форму. Он дает возможность проверить соблюдение температурного режима при выбранной схеме плавки и заливки.

При проектировании используют средние значения металлоемкости формы, количества заливаемых форм и других показателей. Однако на основе предложенного метода может быть создано программное средство для оперативного проектирования и оптимизации процессов плавки и заливки в условиях действующего цеха с конкретной номенклатурой отливок.

Разработанный метод может быть использован как при моно-процессах, так и при дуплекс-процессах плавки, при модифицировании, заливке на конвейере или автоматической линии, в том числе с применением автоматической заливочной установки, как при непрерывном, так и при пульсирующем режиме движения конвейера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов П. Н. *Оборудование литейных цехов : учебник для вузов.* — М. : Машиностроение, 1979. — 510 с.
2. *Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре.* — М. : Машиностроение, 1979. — 375 с.
3. *Логинов И. З. Проектирование литейных цехов : учебное пособие.* — Минск : Высшая школа, 1975. — 319 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

Мясушкин Е. А., Абашева А. Г.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Технологические процессы холодного выдавливания отличаются значительными преимуществами при подготовке прецизионных сложно-профилированных заготовок высокой точности и регламентированного качества.

Математические модели, разрабатываемые для описания силовых и деформационных режимов процессов выдавливания, являются достаточно сложными ввиду необходимости учета пространственной конфигурации штампуемых деталей и многообразия силовых и кинематических воздействий на деформируемую заготовку. Поэтому разработка методик, позволяющих автоматизировать этот процесс, является актуальной проблемой.

Рациональным подходом к ее решению является представление математической модели технологического процесса в виде совокупности структурных элементов, связанных между собой и образующих структурный граф, что возможно с использованием визуального структурного подхода.

Структурный элемент характеризуется набором конструктивно-технологических параметров, определяемых в единой системе координат технологического процесса. При компоновке схемы технологического процесса по границам структурных элементов устанавливаются связи, описывающие передачу значений параметров между соседними элементами, что обеспечивает единство описания технологического процесса.

Комплексный расчет конструктивно-технологических параметров процесса сводится к определению значений параметров его структурных элементов, что характеризуется упрощением математических моделей без снижения степени общности рассматриваемого технологического процесса.

Применение визуального структурного подхода позволяет снизить уровень математической подготовки инженера-технолога вследствие замены сложной математической модели всего технологического процесса на совокупность более простых, взаимодействующих между собой математических моделей, определенных для структурных элементов скомпонованной схемы. Это, в свою очередь, не требует от пользователя глубоких знаний в области решения сложных математических уравнений и позволяет сконцентрироваться на совершенствовании технологических способов и оптимизации режимов процессов холодного выдавливания.

На основе визуального структурного подхода к процессу компоновки процессов холодного выдавливания выполнена разработка программно-методического комплекса, позволяющего описывать процесс осесимметричного выдавливания в виде структурно-параметрических моделей.

Разработанный программно-методический комплекс был применен при проектировании технологической оснастки для выполнения процесса комбинированного радиально-прямого выдавливания полых деталей с фланцем. Сравнение полученных численных результатов с экспериментальными данными показало, что относительная погрешность вычислений не превышает 10 %.

Таким образом, предложенный подход структурно-параметрического описания может быть использован при моделировании сложных технологических процессов холодного выдавливания.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА В ПРЯМОТОЧНОМ И ЦЕНТРОБЕЖНОМ РЕАКТОРАХ

Нестерук Е. П., Бубликов В. Б.
(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Высокопрочный чугун находит широкое применение во всех отраслях промышленности благодаря высоким экономическим показателям и хорошему сочетанию прочностных, эксплуатационных, физических

и технологических свойств. В Украине выпуск высокопрочного чугуна растет медленно, так как базируется на устаревших технологиях модифицирования, для которых характерно низкое усвоение магния, пироэффект и мощное выделение дыма окиси магния в атмосферу. Применение проточного реактора для модифицирования, расположенного в литейной форме, по сравнению с другими методами в наибольшей мере стимулирует зарождение центров эвтектической кристаллизации и интенсифицирует графитизацию структуры, исключает пироэффект и дымовыделение, обеспечивает движение потока расплава. Скорость и характер движения зависят от гидростатического давления, площади сечения входного и выходного каналов, геометрической формы и размеров реактора, температуры заливки. Сравнительное экспериментальное исследование процесса модифицирования в проточном и центробежном реакторах, с учетом оптимальных значений технологических параметров, показало, что выбор места и угла расположения входного канала является одним из важнейших параметров процесса модифицирования в проточном реакторе. Исследования проводили на лигатуре ФСМг7, при расходе лигатуры – 0,75%, коэффициенте заполнения реактора – 0,5; температуре заливки – 1400 °С. При тангенциальном вводе жидкого чугуна в реакторе цилиндрической формы создаётся режим центробежного движения, которое распространяется на всю высоту реактора [1]. Повышение интенсивности движения в придонной части реактора способствует отделению частиц от засыпки лигатуры, что ускоряет псевдооживление твердой фазы в результате создания жидко-твердой среды, состоящей из расплава чугуна и частиц лигатуры. При центробежном движении частицы лигатуры, плотность которой в два раза меньше плотности чугуна, сепарируются в центральной зоне реактора вблизи оси вращения, тогда как при проточном движении отделившиеся от засыпки частицы всплывают под действием архимедовой силы и сосредотачиваются преимущественно в верхней части реактора. И в том и в другом случае, находясь в псевдооживленном состоянии, частицы модификатора участвуют в совместном движении с жидким чугуном и перемещаются друг относительно друга.

Псевдооживление в поле центробежных сил позволяет увеличить скорость оживающего агента и ускорить межфазные процессы. Интенсивное перемешивание твердой фазы способствует выравниванию температур и концентраций в объёме реактора и ускоряет ход теплообменных процессов. В отличие от неподвижного слоя твердых частиц в засыпке на дне реактора, где суммарная поверхность частиц значительно превышает поверхность фазового контакта, при псевдооживлении твердой фазы величины этих поверхностей можно считать практически одинаковыми. Чисто молекулярная диффузия в условиях псевдооживления проявляется в значительно меньшей мере по сравнению с преобладающей турбулентной диффузией, обусловленной интенсивным пульсационным и циркуляционным движением твердых частиц. Создание в реакторе

центробежного движения обеспечивает интенсификацию тепломассообменных процессов как за счет турбулизации пограничного слоя около частиц, так и за счет более быстрого приближения активной поверхности межфазного контакта к суммарной поверхности частиц лигатуры.

Показано, что при повышенном расходе лигатуры (1,0–2,0 %) оптимальным является создание в реакторе режима центробежного движения, которое ускоряет псевдооживление твердой фазы. По сравнению с прямоточным в центробежном реакторе при расходе лигатуры 1,0 % коэффициент усвоения магния чугуном увеличивается в 1,3 раза, а при расходе лигатуры 2 % – в 2,2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брагинский Л. Н., Бегачев В. И., Барабаш В. М. *Перемешивание в жидких средах (физические основы и инженерные методы расчета)*. – Л.: Химия, 1984. – 335 с.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНЫХ ОТЛИВОК ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ НЕФТЕПРОВОДОВ

Онипко Г. В., Дараган В. И., Плотниченко А. В.
(ОАО «ЭМСС», г. Краматорск, Украина)

В 2003 г. на ОАО «Энергомашспецсталь» поступил заказ на изготовление отливок «крестовина» для нефтепроводов. Диаметр условного прохода – 700 мм (ДУ 700) и (ДУ 800), габаритные размеры – 1589х1532х1305, масса отливки – 7000 кг, марка материала – 20ГСЛ. Литое изделие подвергается гидроиспытаниям.

Отливка является нетехнологичной, имеет два массивных узла сверху и внизу отливки, разделенных магистральным проходом и шиберным пазом.

Первоначальная технология изготовления отливки «крестовина» предусматривала подвод металла через два питателя по разьему формы и заливку через один стояк, центральную прибыль нетипичного квадратного сечения и овальные прибыли по двум патрубкам.

После получения первой партии отливок, вскрылись такие дефекты, как горячие трещины и пористость по радиусным переходам, вызванные недостатком питания.

После тщательного анализа технологии были введены изменения, которые заключались в следующем: изменена конструкция центральной

прибыли с прямоугольного сечения как нерационального, на круглого сечения. Применены наружные холодильники по радиусным переходам сопряжения патрубков с наружной стороны отливки.

Отливки, полученные по новой технологии, имели совсем другой уровень качества. Трещин по радиусным переходам не наблюдалось, пористости, выходящей на наружную поверхность, не было.

Достигнутый уровень качества удовлетворял требованиям заказчика. Оценив это, заказчик предложил ОАО «ЭМСС» освоение новой номенклатуры и значительное увеличение объемов производства отливок «крестовина» с большими габаритами и массами. Диаметр условного прохода ДУ 1000, ДУ 1050 и ДУ 1200 для проекта ВСТО (Восточная Сибирь – Тихий океан).

Требования заказчика к изготовлению этих отливок были ужесточены. Повысилось давление гидроиспытания и введено испытание на ударную вязкость при температуре -60°C .

Более высокое давление гидроиспытания (180 ат.) показало недостаточную плотность металла отливок в зоне шибберного паза и магистрального прохода.

В связи с этим была произведена корректировка технологии: введена двухъярусная литниковая система, увеличено количество питателей во втором ярусе до трех. В стержнях, выполняющих проточную часть крестовины, были введены литые наружные холодильники. Они располагались по сложной кривой, выполняющей конфигурацию термического узла.

Описанные изменения дали положительный эффект, хотя результаты были нестабильные.

С развитием программных комплексов моделирования литейных процессов на рынке, ОАО «ЭМСС» был приобретен пакет прикладных программ LVMFlow.

Одной из первых отливок, которая была промоделирована, стала «крестовина». Результаты моделирования позволили выбрать оптимальный подвод металла в форму, изменить месторасположения и размеры наружных холодильников в магистральном проходе, убрать одну из трех прибылей как неэффективную.

Применение утепляющих вставок и присыпок позволило уменьшить размер центральной прибыли, улучшить питание отливки и увеличить технологический выход годного до 81,6 %. Данные мероприятия привели качество отливок в соответствие с новыми требованиями заказчика. В 2006 г. было изготовлено 169 таких отливок, а в 2007 г. – 233.

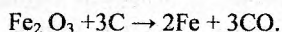
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ ОКСИДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Пельх В. Ф.¹, Пономаренко О. И.¹, Погорельый А. М.¹, Радченко А. А.²,
(¹ НТУУ «ХПИ», г. Харьков, Украина; ² ОАО «ХТЗ», г. Харьков, Украина)

В настоящее время самым распространенным чугуноплавильным агрегатом является вагранка. Простота конструкции, высокий КПД и способность к непрерывной выдаче металла обеспечили ей широкое применение во всем мире. Но, учитывая сложившуюся на сегодня ситуацию, связанную с дороговизной и дефицитом топлива, шихтовых материалов, таких как литейные и передельные чугуны, встал вопрос о внедрении новых технологий, в которых в качестве шихтовых материалов использовались углеродосодержащие железорудные материалы, углеродосодержащие брикеты. К таким технологиям относится технология на базе реакции прямого восстановления железа из оксидов железа. Это дает возможность получать чугуны, кроме того — экономить материалы и значительно сократить безвозвратные потери шихтовых и топливных материалов.

В последние годы интенсивно ведутся работы по изучению особенностей жидкофазной плавки и разработке технологии получения металлов и сплавов из оксидосодержащих материалов. В рамках данного направления и решается указанная задача.

Для этого в НТУУ «ХПИ» совместно с ОАО «ХТЗ» были поставлены и проведены эксперименты по получению чугуна из отходов собственного производства — окалины, цехов термической обработки отливок на ХТЗ. В качестве шихтовых материалов были приготовлены окатыши с использованием окалины — 70–72 %, серебристого графита — 16,0 %, бентонита как связующего — 12,6 %. Окатыши изготавливались диаметром 20–25 мм и подвергались сушке при комнатной температуре. Затем окатыши помещались в печь Таммана и плавилась при температуре 1300 °С. Для увеличения подвижности шлака, предохранения металла от окисления, а также для очистки металла от неметаллических включений были применены флюсы. Известняк и кальцинированную соду брали в количестве 3 % от объема шихты. Во время расплавления происходило восстановление железа по следующей реакции:



После расплавления 500 г окатышей, было получено 185 г металла и 40 г шлака. Химический состав полученного сплава: С = 4,08 %, Mn = 0,58 %, Si = 2,10 %, Cr = 0,98 %, Ni = 0,2 %. Такой сплав можно отнести к серым чугунам и использовать в качестве шихтовых материалов при плавке в вагранке или других печах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Полушкина И. Ю., Еременко А. П., Лоза А. С.
(ДГТУ, г. Днепропетровск, Украина)

Чугун с шаровидным графитом является одним из наиболее распространенных конструкционных материалов в машиностроении, так как обладает рядом преимуществ в сравнении с другими используемыми материалами, благодаря экономичности и благоприятному сочетанию служебных и технологических свойств [1]. В большинстве промышленно развитых стран из этого сплава изготавливают 24–27 % от общей массы литых заготовок [2, 3]. В Украине доля высокопрочного чугуна в общей массе литья в течение длительного периода не может превысить 3 %.

Производство отливок из высокопрочного чугуна предъявляет повышенные требования к качеству шихтовых материалов, однако в Украине с каждым годом в шихте увеличивается доля низкокремнистых передельных и литейных доменных чугунов, что отрицательно сказалось на качественных показателях чугуночного литья. Черная металлургия систематически снижает выпуск литейных высококремнистых чугунов высоких марок и увеличивает выпуск низких, близких по качеству к передельным. Возможно, что эта тенденция сохранится и в дальнейшем, так как производимость доменных печей при выплавке низкокремнистых литейных и передельных чугунов на 18–20 % выше, чем при выплавке литейных высококремнистых чугунов, при сокращении расхода кокса на 20 %. Поэтому огромное значение имеет проблема повышения качества чугуночных отливок, непосредственно связанная с процессами плавки, модифицирования, качеством применяемых шихтовых материалов, экономией энергоресурсов.

Одним из способов повышения механических свойств и устранения отбела в тонких сечениях чугуночных отливок является графитизирующее модифицирование. Влияние различных элементов на графитизацию при модифицировании серых чугунов изучено достаточно полно. Установлено, что эффективность обработки зависит от количества и состава присадки, исходного состава и температуры чугуна, времени выдержки модифицированного чугуна перед заливкой и некоторых других технологических факторов. Но переносить полученные закономерности для серых чугунов на чугун с шаровидным графитом нельзя, т. к. обработка магнием приводит к обессериванию, дегазации и рафинированию металла и, как следствие, изменению его физико-химических свойств.

Исследование влияния графитизирующего модифицирования ферросилицием ФС75 различных ферросплавных заводов на скорость распада карбидов проводили методом дилатометрического анализа. Для проведения исследований использовали оптический дифференциальный дилатометр.

В результате дилатометрических исследований были получены S-образные кривые зависимости абсолютного удлинения образцов из высокопрочного чугуна от времени изотермической выдержки. Приведены полученные данные по продолжительности распада карбидов и микроструктуре чугунов, обработанных 0,2; 0,4; 0,6 % ферросилиция различных заводов, до и после изотермической выдержки.

На кривых изотермического распада карбидов можно выделить три участка, особенно характерных для кривых, когда расход вторичного модификатора составлял 0,2 %.

На первом этапе процесс графитизации идет очень медленно – инкубационный период. Наклон кривой незначителен. Предполагается, что в этот период идет образование зародышей графита и линейный рост. На втором участке (период ускоренной графитизации) – наклон кривой резко возрастает. В этот период наряду с образованием зародышей происходит интенсивный рост графитных включений за счет распавшихся карбидов и диффузии углерода.

Полученные S-образные кривые изменения линейного размера по характеру отвечают теоретической кривой графитизации белых чугунов, приближенно определяемой уравнением Оуэна и Бурке:

$$W = 1 - \exp(-kt^n).$$

С увеличением расхода модификатора характер хода кривых изменяется: чем меньше расход модификатора, тем практически кривые ближе к теоретической. Полученные кривые дают возможность рассчитать энергию активации W , которая определяется по формуле:

$$W = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

или

$$\lg W = \lg A - \frac{Q}{RT}.$$

С увеличением расхода модификатора значение энергии активации зародышевания уменьшается. И хотя, как отмечается [1], энергия активации не может служить надежным критерием для анализа процессов графитизации, так как должна характеризовать сложный процесс, зависящий от нескольких факторов, она может быть использована для его оценки, особенно первого периода.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что инкубационный период при обработке чугуна 0,2 % ферросилиция производства ЧЭМК практически отсутствует (кривая 3), то есть идет рост уже имеющихся графитовых включений. При обработке чугуна ферросилицием производства ЕФЗ, НФЗ, СФЗ (кривые 1, 2 и 4) инкубационный период

достигает 30 мин. Продолжительность периода ускоренной графитизации у образцов из этих чугунов также значительно больше, чем у образца, обработанного челябинским ферросилицием. Общая продолжительность графитизации для образцов 3 и 4 составляет 110 и 150 мин., а для образцов 1 и 2 она увеличивается до 170 и 210 мин., соответственно.

Различие в кинетике графитизации может быть связано с различным содержанием примесных элементов в составе ферросилиция различных ферросплавных заводов, в частности А1 [7], который оказывает сильное влияние на процесс графитизации. Алюминий близок к кремнию. Исследованиями установлено, что добавки алюминия уже в небольших количествах приводят к увеличению различия скоростей роста графита в аустените и карбиде. Если при 0,003 и 0,006 % А1 скорости роста графита в этих фазах близки, то при 0,05 % А1 графит быстрее растет в аустените, чем в цементите; при дальнейшем увеличении содержания алюминия это различие усиливается.

Возможно, что ускорение роста графита по границам и суб-границам зерен аустенита обусловлено связыванием алюминием таких примесей, как азот, водород и сера, атомы которых, оккупируя дефекты, отравляют их как источники вакансии, что ведет к задержке эвакуации атомов железа. Алюминий, подобно кремнию, сильно увеличивает число центров и скорость графитизации.

После дилатометрических испытаний при изотермической выдержке образцов в структуре уменьшается доля цементита, структура образцов – перлито-цементитная различной степени дисперсности. Однако даже после термообработки при расходе модификатора 0,2 % в структуре образцов, обработанных ферросилицием Ермаковского и Новокузнецкого ферросплавных заводов, содержатся нераспавшиеся включения карбидов. Особенно их много в структуре из чугуна, обработанного ферросилицием Ермаковского ферросплавного завода. Количество цементита в структуре чугуна – более 40 %.

Таким образом, графитизирующая обработка ВЧ ФС75 резко сокращает продолжительность распада карбидов и при расходе более 0,4 % обеспечивает процесс графитизации без инкубационного периода. Необходимо отметить высокий графитизирующий потенциал ФС75 ЧЭМК. Так, при использовании этого ферросилиция, даже при расходе 0,2 %, на кривых распада цементита отсутствует инкубационный период, в литой структуре имеется значительное количество включений графита. Достаточно высоким графитизирующим потенциалом обладает ферросилиций СФ3.

Результаты работы могут быть использованы на практике в действующих литейных цехах при производстве тонкостенного литья из высокопрочного чугуна.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЛИТЕЙНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Пономаренко О. И.
(НТУУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Совершенствование существующих и разработка новых технологических процессов литья является основной целью научных исследований в литейном производстве. Решение этой задачи требует привлечения всего арсенала эмпирических, эвристических, теоретико-технологических и математических методов. Как правило, основу литейно-технологических исследований составляют широкие экспериментальные и производственные исследования, проводимые для изучения и разработки эвристических идей с привлечением математических методов для теоретического обоснования и обработки полученных данных.

Существует громадная разница между ролью математики в науках об окружающем мире и прикладных науках технологического характера. В естествознании математика стала основой точного знания, мощным орудием познания, позволяющим осуществить надежный контакт с внешней объективной реальностью. Однако длительное время технология и математика развивались независимо друг от друга, каждая по своим законам. В дальнейшем наметился союз технологии и науки, позволивший достичь почти фантастических результатов в области атомной энергии, космической техники и создания элементной базы электронной вычислительной техники. Вершиной развития союза науки и технологии является разрабатываемая в настоящее время нанотехнология, оперирующая отдельными атомами.

В связи с этим возникает вопрос об эффективности, возможностях и границах использования математических методов и аппарата в исследованиях технологии литья. Этот вопрос представляет большой интерес в связи с тем, что математика как наука интенсивно развивается по двум направлениям: вглубь – по пути использования логических абстракций и вширь – путем создания новых математических средств, пригодных для описания реальных сложных систем, в том числе технологического типа. Ключевым моментом для определения технологических возможностей математики является то, как представляются технологии с точки зрения возможности их количественного математического описания и в чем их отличие от систем естествознания.

Знаменитый план изучения природы Галилео Галилея (1564–1642), с которого началось развитие современной математической физики, включает требования математически описать явления, оставляя в стороне причинно-следственные отношения, выделить фундаментальные свойства и принять их за переменные в формулах, а также при изучении явления прибегать к его идеализации. В дальнейшем последнее требование было

воплощено в виде принципа декомпозиции, согласно которому изучаемый объект необходимо разложить на составляющие его элементы, элементарные акты, элементарные стадии. После этого проводится математическое исследование полученных элементов, затем можно провести «синтез» математического. Этой логике математика обязана многими блестящими победами – от предсказания времени солнечных и лунных затмений с точностью до десятых долей секунд до освоения атомной энергии. Эти успехи стали возможными благодаря тому, что объекты, изучаемые механикой, оптикой, астрономией, квантовой механикой, теорией электричества и магнетизма и т. д., не связаны или имеют очень слабую связь друг с другом и допускают раздельное изучение. В технологических системах протекают разнородные процессы: механические, гидродинамические, термохимические, тепломассообменные, термодинамические и др., которые тесно связаны между собой и не могут быть изучены раздельно, т. е. к ним не применим принцип декомпозиции.

Второе принципиальное отличие технологических систем от естественнонаучных заключается в том, что в технологических системах количество независимых переменных очень большое и может достигать величины порядка нескольких сотен и даже тысяч. При этом переменные можно разделить на существенные и несущественные, однако граница между ними расплывчата и может меняться в зависимости от времени и конкретных условий. Системы этого типа получили название диффузных. Отсюда сразу следует, что использование классического математического аппарата для изучения диффузных систем связано с необходимостью преодоления значительных трудностей, а именно – с выбором переменных и учетом взаимосвязи разнородных процессов, протекающих в изучаемой системе.

Развитие математического аппарата идет параллельно с быстрым расширением возможностей вычислительной техники. Не так давно был сформулирован эмпирический закон развития вычислительной техники, согласно которому возможности ЭВМ удваиваются каждые два года. Это открывает новые возможности в области математического моделирования сложных систем в области технологии литья. Во-первых, можно создавать и использовать на практике математические модели, содержащие многие тысячи независимых переменных, т. е. можно моделировать такие организационно-технологические системы, как автоматическая линия, участок цеха, литейный цех, литейный завод. Во-вторых, вырисовалась возможность решения на ЭВМ систем управлений математической физики любой сложности, это позволяет отказаться от широко используемых при разработке математических моделей, упрощающих предположений и повысить точность математического моделирования за счет ликвидации методической погрешности реализуемых на ЭВМ моделей.

Для численного решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих различные физические поля, формирующиеся в реальных технологических исследованиях, в настоящее время

используются четыре основных метода: конечных разностей (МКР), конечных элементов (МКЭ), граничных элементов (МГЭ) и фиктивных областей (МФО). Последние два метода появились сравнительно недавно, при этом МГЭ сводит решение объемной задачи к плоской, что позволяет уменьшить размерность задачи на единицу, а МФО – свести решаемую задачу к корректировке надежного решения, ранее полученного для ближайшей стандартной области, например параллелепипеда. Такой подход очень перспективен, но пока область применения этих методов ограничена стационарными процессами. Как показывает опыт, в настоящее время для моделирования физических полей литейно-технологических систем лучшим по сочетанию простоты и эффективности является метод конечных элементов.

Значительным успехом прикладной математики является создание методики и математического аппарата, пригодного для решения оптимизационных задач не только в области численного анализа, кибернетики и автоматизации, но и для управления реальными технологическими процессами. Эффективными инструментами решения такого типа задач показали себя эволюционное планирование промышленных экспериментов, последовательный симплекс-метод, моделирование и адаптация промышленных технологий. Методика планирования промышленных экспериментов была успешно апробирована в литейном производстве, но, к сожалению, не получила широкого применения.

В настоящее время сложился определенный круг математических идей, методов и средств, который успешно работает в области управления технологическими процессами и системами, который можно определить как технологическую математику. Этот раздел прикладной математики заслуживает выделения его в самостоятельную дисциплину и внесения ее в вузовские программы обучения.

АНАЛИЗ МЕТАЛЛА СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ ПО ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫМ МОДЕЛЯМ

Порохня С. В., Фесенко А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Исследовали качество стальных отливок (сталь 30), полученных литьем по пенополистироловым моделям, изготовленным по предлагаемой нами технологии (обработка гранул полистирола в свободно движущемся потоке пара и циклическом режиме охлаждения пресс-форм). Для сравнения отливались стальные отливки по пенополистироловым газифицируемым моделям, полученным по традиционной технологии их производства (автоклавный режим).

Результаты исследований микро- и макроструктуры экспериментальных стальных отливок показывают, что структура металла в отливках, изготовленных по разработанной технологии, мельче, чем у образцов, полученных по обычной технологии. Металл в обоих случаях литья плотный, однородный, дефекты отсутствуют, микроструктура внутренних зон отливок – феррито-перлитная, видманштеттная.

На всей поверхности стальных отливок, полученных по пенополистироловым моделям, изготовленным по традиционной технологии, с заливкой в литейные формы из сухого кварцевого песка без связующего, наблюдали науглероженный слой толщиной 0,7–0,8 мм, микроструктура поверхностного слоя – перлитная.

При заливке форм, в которых пенополистироловые модели соприкасались с увлажненным кварцевым песком, на поверхности стальных отливок появлялся обезуглероженный слой. При этом в отливках с толщиной стенок 10 мм глубина науглероженного слоя небольшая и не превышает 0,4 мм. С увеличением толщины стенок стальной отливки глубина обезуглероженного слоя возрастает, кроме того, возрастает и глубина науглероженного слоя, так как происходит диффузия сорбированного поверхностью отливки углерода вглубь (в тело) отливки. В результате твердость поверхностного слоя снижается. Структура в центре стальной отливки феррито-перлитная, крупнозернистая.

Изменение глубины обезуглероженного слоя стальных отливок при литье в увлажненный песок описывается эмпирической зависимостью:

$$\xi = 0,44 \cdot \left(\frac{\delta}{10} \right) - 0,2175,$$

где ξ_0 – глубины обезуглероженного слоя, мм;

δ – толщина стенок отливки, мм.

При этом зависимость изменения глубины науглероженного слоя e_n имеет вид:

$$e_n = 0,306 \cdot \left(\frac{\delta}{10} \right) + 0,105.$$

Таким образом, использование увлажненного кварцевого песка в качестве формовочного материала, а также обработка гранул полистирола в свободно движущемся потоке пара в сочетании с циклическим режимом охлаждения газифицируемых моделей, позволяет снизить глубину поверхностного науглероживания отливок из стали 30 в 2 раза, что расширяет область применения данного способа литья.

КИНЕТИКА ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

Порохня С. В., Фесенко А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Изучение кинетики газовыделения и определение качественного и количественного состава продуктов термодеструкции пенополистирола проводились различными исследователями. Используя данные литературных источников, получили эмпирическую зависимость для расчета плотности парогазовой смеси:

$$\rho_{\text{пг}} = -0,000007 \cdot \left(\frac{T-600}{100} \right)^2 - 0,0003 \cdot \left(\frac{T-600}{100} \right) + 0,01,$$

где $\rho_{\text{пг}}$ – плотность парогазовой смеси, г/см³;
T – температура, К.

Расчеты по приведенной формуле показывают, что плотность парогазовой смеси при температуре термической деструкции пенополистирола 973 К составляет $8,8806 \cdot 10^{-3}$ г/см³, при температуре 1573 К – $4,9085 \cdot 10^{-3}$ г/см³ и при температуре 1823 К – $2,1314 \cdot 10^{-3}$ г/см³.

Количество выделившихся газов V (см³) при деструкции 1 г пенополистироловой модели с кажущейся плотностью ρ (г/см³) для различных температур могут быть рассчитаны по следующим эмпирическим зависимостям:

– для температуры газификации 973 К:

$$V = 87,162 \cdot \left(\frac{c-10}{10} \right)^2 - 170,36 \cdot \left(\frac{c-10}{10} \right) + 195,81;$$

– для температуры газификации 1573 К:

$$V = 130,74 \cdot \left(\frac{c-10}{10} \right)^2 - 255,54 \cdot \left(\frac{c-10}{10} \right) + 293,71;$$

– для температуры газификации 1823 К:

$$V = 174,32 \cdot \left(\frac{c-10}{10} \right)^2 - 340,72 \cdot \left(\frac{c-10}{10} \right) + 391,61.$$

Изменение относительной газотворности V_0 (см³/г) пенополистироловой модели с кажущейся плотностью 20 кг/м³ в зависимости от скорости подъема v (см/с) металла в полости формы рассчитываются по эмпирическим формулам:

– для температуры металла 973 К:

$$V_0 = 111,57 \cdot (x+1)^{-0,4456};$$

– для температуры металла 1573 К:

$$V_0 = 199,26 \cdot (x+1)^{-0,3816};$$

– для температуры металла 1823 К:

$$V_0 = 471,91 \cdot (x+1)^{-0,4899}.$$

Результаты расчета показали, что плотность жидкой фазы продуктов термической деструкции пенополистироловых моделей, которая в основном состоит из толуола, бензола, стирола, составляет $0,898 \text{ г/см}^3$ для температуры в диапазоне 973–1823 К.

Таким образом, полученные эмпирические зависимости кинетики газовыделения при термической деструкции пенополистироловых моделей для различных температурных режимов литья позволяют прогнозировать газовые процессы, протекающие в форме.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ С ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫМИ МОДЕЛЯМИ

Порохня С. В., Фесенко А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Теплообмен между расплавом и формой является одним из главных факторов, определяющих формирование структуры и свойств металла отливок. Кроме того, на качество получаемых отливок, наряду с условиями теплообмена, оказывает существенное влияние газовый режим литейной формы, что особенно актуально при литье по газифицируемым пенополистироловым моделям. Вопрос управления процессом взаимодействия продуктов разложения газифицируемых пенополистироловых моделей и металла стоит очень остро. Формирование науглероживающей среды происходит в период снятия теплоты перегрева и затвердевания металла отливки. Наиболее эффективной мерой влияния на газовую среду в форме может быть регулирование состава газов (за счет связывания углеводородных газов в химических реакциях), применение различных формовочных материалов (за счет изменения интенсивности охлаждения форм при затвердевании отливок), введение в форму или в краски веществ, способных создавать окислительную атмосферу вокруг отливки. Одним из путей создания окислительной атмосферы может стать литье по пенополистироловым моделям во влажный кварцевый песок.

Для исследования характера затвердевания и охлаждения отливок при литье по газифицируемым пенополистироловым моделям заливали сталь 30Л в форму с сухим и увлажненным (3–4 % влажности) кварцевым песком (1К02А). Пенополистироловые модели плитообразной формы с размерами $(200 \times 200) \cdot 10^{-3}$ м и толщиной 10, 30 и $50 \cdot 10^{-3}$ м изготавливали в алюминиевой пресс-форме из предварительно подвспененных гранул с насыпной массой 20, 30, 40 кг/м³, выдержанных на воздухе 24 часа. Предварительное подвспенивание гранул полистирола и окончательное спекание пенополистироловых моделей производили в режиме свободно движущегося потока пара.

Анализ полученных результатов показывает, что для данного формовочного материала начальная скорость охлаждения отливки быстро уменьшается с увеличением ее толщины, при этом начальная и средняя скорости охлаждения отливки являются наименьшими при формовке в сухой кварцевый песок. При формовке во влажный песок начальная скорость охлаждения выше, чем при формовке в сухой песок. Причем разница между начальными скоростями охлаждения при использовании в качестве формовочного материала сухого и увлажненного песка постепенно уменьшается по мере увеличения толщины отливки, но в случае формовки в увлажненный песок скорость охлаждения все же остается сравнительно высокой.

Высокая скорость охлаждения, наблюдаемая при использовании увлажненного песка в качестве формовочного материала, связана с наличием влаги в формовочной смеси. Это обеспечивает лучший контакт формовочного материала с отливкой, что улучшает условия теплоотдачи от отливки в форму на границе раздела «металл – форма». Кроме того, влага, содержащаяся в увлажненном песке, поглощает значительное количество тепла, прежде чем она перейдет в парообразное состояние. Так как влага, находящаяся в непосредственной близости от отливки, превращается в пар, а зона испарения удаляется вглубь формовочной смеси, песок вблизи отливки превращается в сухой, который плохо передает тепло, поэтому высокая способность к теплопоглощению, наблюдающаяся в начальный период литья в увлажненный песок, быстро уменьшается. При затвердевании массивных отливок вследствие выделения большего количества тепла, образуются более широкие зоны из слоя высушенного песка вокруг отливки, что ведет к снижению скорости затвердевания и охлаждения металла.

Таким образом, использование увлажненного кварцевого песка при формовке пенополистироловых моделей позволяет увеличить скорость кристаллизации металла и, как следствие, ведет к измельчению структурных составляющих сплава и к уменьшению или полному устранению науглероживания поверхностного слоя стальных отливок.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ И ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ШИХТЫ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Приходько О. В., Царева М. А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Конкурентоспособность продукции литейных цехов во многом определяется качеством выпускаемых отливок и их себестоимостью.

Одним из критериев оценки качества литья являются эксплуатационные свойства литых изделий, которые во многом определяются химическим составом заливаемого сплава и содержанием в нем вредных примесей. Сложность получения сплава заданного химического состава обусловлена колебаниями содержания расчетных химических элементов в шихтовых материалах, погрешностью дозирования компонентов шихты, погрешностью химического анализа при отборе проб, изменениями величины угара, которые связаны с изменением интенсивности и полноты протекания химических реакций при плавке и т. д. Себестоимость же выплавляемой стали и, в конечном итоге, стоимость отливок в значительной мере зависят от стоимости применяемых шихтовых материалов.

Шихта для выплавки одного и того же сплава может быть составлена из различных комбинаций исходных шихтовых материалов. Задача расчета металлической шихты в общем случае заключается в определении такого соотношения между выбранными шихтовыми материалами с учетом их наличия, стоимости и технической возможности плавки, которое обеспечивает получение сплава заданного химического состава в соответствии с ГОСТ, ДСТУ или ТУ.

Особенностью расчета оптимального состава шихты на ПЭВМ является то, что он сводится к решению математической оптимизационной задачи, в которой определяется минимум некоторой функции при условии определенных ограничений на искомые переменные и их комбинации. Существующие методы и алгоритмы расчетов шихты в значительной степени отличаются между собой видом критерия оптимизации и ограничениями, которые накладываются на условия задачи: минимальной стоимостью рассчитываемой шихты, наименьшей стоимостью отливки, изготовленной из жидкого металла, выплавленной из рассчитываемой шихты, минимальной стоимостью нескольких рассчитываемых одновременно шихт или же минимальным содержанием в шихте вредных примесей. Основным недостатком существующих методов расчета шихты на ПЭВМ является то, что при решении задачи предусмотрена одна целевая функция.

Особенностью разработанного алгоритма является комплексный подход при расчете состава шихты. В алгоритме предусмотрено применение двух критериев оптимизации, которые могут применяться как независимо друг от друга в заданной пользователем последовательности,

так и одновременно. Этими критериями являются минимальная суммарная стоимость шихты (как приведено в классической постановке задачи) и минимальное суммарное содержание вредных примесей (фосфора и серы). Выбор данных критериев оптимизации обусловлен тем, что эксплуатационные свойства углеродистых сталей напрямую зависят от содержания в них вредных примесей, которые переходят в сталь из шихтовых материалов. Применение же технологий плавки, которые предусматривают удаление этих примесей из сталей или же использование исходных компонентов шихты с низким первоначальным содержанием фосфора и серы приводит к увеличению себестоимости выплавляемой стали.

Алгоритмом предусматривается наличие большой базы данных по химическому составу углеродистых сталей и применяемых шихтовых материалов, а также возможность корректировки этой базы.

Разработанная по приведенному алгоритму программа позволяет рассчитывать оптимальный по содержанию вредных примесей компонентный состав шихты с учетом минимальной суммарной стоимости, а также корректировать компонентный состав шихты, если прогнозируемый состав сплава в отливках не удовлетворяет предъявляемые требования.

ГИДРОУПРУГИЙ МЕХАНИЗМ В ЛИТЕЙНЫХ МАШИНАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Роганов Л. Л., Роганов М. Л.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Гидроупругий механизм (ГУМ) основан на использовании энергии упругости сжатой жидкости. Особенностью работы ГУМ являются: его срабатывание за короткий промежуток времени; выделение при этом большой энергии; управляемость процессом выделения энергии от самых малых величин энергии до максимальных; экологическая чистота (отсутствие выбросов в атмосферу); применение освоенной в технике гидроаппаратуры и насосов; сравнительная простота обслуживания и эксплуатации; высокий КПД работы (85%).

ГУМ выполняется как гидравлический цилиндр-аккумулятор (ЦА) с установленным внутри ступенчатым плунжером с уплотнительным узлом на торце плунжера. Уплотнение делит емкость ЦА на две части: большая служит для накапливания энергии, меньшая – для управления срабатыванием ЦА. Жидкость под давлением от обычной насосной станции подается в большую емкость ЦА, меньшая емкость ЦА, отделенная от большей емкости уплотнением, соединена со сливом. В ЦА накапливается энергия упругой деформации жидкости по зависимости:

$$W_y = \frac{p_r Q_{ж}}{2E_{ж}}$$

где W_y – энергия;

p_r – рабочее давление;

$Q_{ж}$ – объем ЦА;

$E_{ж}$ – модуль упругости жидкости.

Контроль уровня энергии производится по манометру. После накопления нужной энергии, меньшая емкость отсекается от слива и соединяется с напором жидкости. Уплотнение внутри цилиндра разуплотняется и жидкость выталкивает плунжер из цилиндра. Потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию подвижных частей и производит полезную работу.

В литейных машинах ГУМ может использоваться при выполнении следующих технологических операций:

- машины ГУМ для уплотнения литейных грунтов в опоках;
- машины инерционного уплотнения;
- машины для очистки литейных форм от земли после остывания отливки;
- машины для отбивания прибылей у литейных отливок с гидропневмоприводом;
- устройства для встряхивания отливок при их кристаллизации в кессонах;
- ГУМ привода импульсных клапанов размером от 600 мм и больше с целью снижения давления сжатого воздуха до 0,5 МПа;
- ГУМ сдвижных многощелевых перекрытий опок большой площади;
- устройство для уменьшения и снятия внутренних напряжений в отливках;
- разделение древесины для изготовления моделей;
- обработка отливок струей жидкости высокого давления.

Перечисленные машины и технологии опробованы в ДГМА в лабораторных условиях на макетах и моделях с ГУМ и в целом подтвердили свою эффективность. Некоторые машины и техпроцессы требуют дальнейшего исследования, патентования и доработки.

В ДГМА разработаны принципиальные схемы литейных машин с ГУМ, внедрение которых может привести к большому экономическому эффекту.

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПЛАВЛЕННОГО СИЛУМИНА (20.1 мас. % Si)

Роик А. С., Сокольский В. Э., Казимиров В. П.,
Самсонников О. В., Бойко В. П., Мазур А. В.
(КНУ имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина)

Силумины (сплавы с 4–22 % кремния) составляют основную группу алюминиевых соединений и эффективно применяются в коммерческих целях. К настоящему времени проведено много структурных исследований силуминов в жидком состоянии, но трактовка полученных данных не всегда соответствует обширному объему экспериментальных данных. Диаграмма состояния системы Al-Si относится к простому эвтектическому типу с небольшой растворимостью компонентов друг в друге в твердом состоянии [1]. Такая диаграмма предполагает незначительное взаимодействие между разнородными атомами в жидком состоянии, однако концентрационная зависимость термодинамических функций свидетельствует, что расплавы Al-Si характеризуются значительным взаимодействием между разнородными атомами, что проявляется в существенных отрицательных значениях избыточных свободных энергий и энталпий смешения [2]. Это предположение согласуется с результатами рентгенографического исследования этих расплавов и результатами сверхбыстрой закалки, при которой образуются интерметаллические фазы [3].

Образцы сплавлялись в электродуговой печи из высокочистых Al (99,99 %) и Si (99,99 %). Исследования проведены на θ - θ дифрактометре на MoK_α -излучении (50 кв, 30 ма) в высокотемпературной вакуумной камере в атмосфере высокочистого гелия. Монохроматизация излучения осуществлялась парой сбалансированных фильтров Zr-Y. Кривые интенсивности рассеянных рентгеновских лучей (КИ) получены в диапазоне вектора рассеивания $0.05 < S < 1.27 \text{ nm}^{-1}$ ($S = 4 \pi \sin\theta/\lambda$) при температурах 670, 690, 760, 800, 830, 900, 950 и 1030 °C. Из них рассчитаны структурные факторы (СФ) и кривые радиального распределения атомов (КРРА). Полученные экспериментальные данные моделировались различными моделями, однако близкие атомные номера и, соответственно, близкие атомные факторы рассеяния при моделировании приводят к неоднозначным результатам. Так, аддитивное сложение нормированных кривых интенсивности довольно неплохо описывает экспериментальную КИ суммой КИ чистого кремния и алюминия с учетом мольных долей. Анализ распределения атомов в атомной ячейке, полученной методом обратного Монте-Карло, свидетельствует о статистическом распределении атомов кремния внутри матрицы из атомов алюминия. Местоположение первого максимума экспериментальной КИ находится между максимумами размытой гранецентрированной и объемноцентрированной ячейки, поэтому суммой размытых ГЦК, ОЦК и, возможно, примитивной кубической решеток можно описать экспериментальную КИ в довольно широком концентрационном интервале:

Существенным отличием экспериментальных данных для расплавленного алюминия и силумина является существенное уменьшение площади под первым максимумом КРРА (A_1) от 8–7 у чистого Al до 6 у расплавленного силумина. Также уменьшается ближайшее межатомное расстояние (R_1) от 0.281–0.278 нм у чистого расплавленного Al до 0.273–0.268 нм у расплавленного силумина. Такое уменьшение A_1 и R_1 может свидетельствовать о значительном увеличении растворимости кремния в алюминии при статистическом его распределении в матрице алюминия или при образовании интерметаллических микрогруппировок, что подтверждается сверхбыстрым охлаждением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник : в 3 т. / под общей редакцией акад. РАН Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1996. – 3 т.*
2. *Баталин Г. И., Белобородова Е. А., Казимиров В. П. Термодинамика и строение жидких сплавов на основе алюминия. – М. : Metallurgia. – 1983. – 160 с.*
3. *Мазур А. В., Мазур В. И. Влияние температурной обработки расплава на образование и распад метастабильных фаз при затвердевании заэвтектического силумина // Расплавы. – 1990. – № 3. – С. 71–79.*

ОСОБЕННОСТИ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ, ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ В СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ СО СКАНДИЕМ, ХРОМОМ И МАРГАНЦЕМ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СООТВЕТСТВУЮЩИМИ ДИАГРАММАМИ СОСТОЯНИЯ ТРОЙНЫХ И ЧЕТВЕРНЫХ СИСТЕМ

Рохлин Л. Л., Бочвар Н. Р., Добаткина Т. В., Лысова Е. В.
(Институт металлургии и материаловедения РАН, г. Москва, Россия)

Переходные металлы (Sc, Cr и Mn) используются как дополнительные легирующие добавки в алюминиевых сплавах с целью улучшения их механических и технологических свойств. Положительное влияние Sc, Cr и Mn в значительной степени обусловлено тем, что их присутствие в расплаве проявляется на изменении литой структуры.

Основными изменениями литой структуры сплавов при введении в них переходных металлов являются измельчение размеров кристаллитов Al-твердого раствора (размеров зерна) и аномальное пересыщение Al-твердого раствора. Измельчение зерен твердого раствора в литом состоянии способствует повышению прочности и пластичности сплавов, уменьшает склонность сплавов к образованию трещин при литье.

Образование аномально пересыщенных Al-твердых растворов с переходными металлами способствует дополнительному упрочнению Al-сплавов при последующем старении, затрудняет протекание рекристаллизации, которая может иметь место при обработке давлением, вызывая разупрочнение сплавов.

Отмеченные положительные эффекты от введения Sc, Cr и Mn в Al-сплавы обусловлены характером соответствующих двойных диаграмм состояния, которые отличаются небольшой, но существенной протяженностью Al-твердого раствора, уменьшающейся с понижением температуры, и инвариантными превращениями (эвтектическим или перитектическим) с критическими точками, близкими по температуре к температуре плавления Al и невысокой концентрацией. Модифицирующему эффекту при введении переходных металлов в Al способствует образование на начальных стадиях затвердевания дисперсных частиц, которые при понижении температуры становятся центрами кристаллизации. При этом перитектический характер диаграммы состояния является предпочтительным.

Наиболее благоприятное влияние на литую структуру от введения Sc, Cr и Mn в Al-сплавы можно ожидать, когда они вводятся совместно. Однако это влияние может оказаться неоднозначным, и прогнозировать его можно, только базируясь на знании соответствующих диаграмм состояния в области Al. Такого рода исследования были начаты в ИМЕТ РАН.

Исследования диаграммы состояния Al-Sc-Cr показало, что Sc и Cr практически не влияют на растворимость друг друга в твердом Al, так что суммарное содержание переходных металлов в Al-твердом растворе в тройной системе оказывается более высоким, чем в каждой из двойных систем. В системе Al-Sc-Mn поведение переходных металлов при растворении их в твердом Al более сложное. Sc несколько снижает растворимость Mn в Al, тогда как Mn практически не сказывается на растворимости Sc в Al. Присутствие Sc в тройных сплавах Al-Sc-Cr в достаточно широких пределах не изменяет перитектический характер начала кристаллизации, что должно способствовать измельчению кристаллитов алюминиевого твердого раствора при литье. В системе Al-Sc-Mn перитектического превращения не наблюдается, так что присутствие Mn в тройных Al-Sc-Mn-сплавах не измельчает литой структуры. В четверных Al-Sc-Cr-Mn-сплавах имеет место переход от перитектического превращения в системе Al-Sc-Cr к эвтектическому превращению в системе Al-Sc-Mn, поэтому в четверных сплавах характер литой структуры будет определяться соотношением Cr и Mn.

Приводятся экспериментальные данные, подтверждающие связь литой структуры, образующейся в Al-сплавах, легированных Sc, Cr и Mn, с соответствующими тройными и четверной диаграммами состояниями.

Работа проводилась по грантам РФФИ №05-03-32245а и №08-03-00066а.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПЕЧНЫХ ШЛАКОВ ФЕРРОНИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШЛАКОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Сабирзянов Т. Г., Мошнягул В. В., Надворный Б. Е.
(КНТУ, г. Кировоград, Украина)

Проблема переработки металлургических шлаков является чрезвычайно острой. В мире накоплены сотни миллионов тонн шлаков в отвалах, и их количество постоянно возрастает, занимая всё большие площади и загрязняя окружающую среду.

Металлургическими предприятиями Украины накоплено 245 млн. т шлаков и 29 млн. т шламов.

Чёрная металлургия Украины ежегодно производит порядка 16 млн. т доменного шлака и около 8 млн. т сталеплавильных шлаков. 60 % доменных и 30 % сталеплавильных шлаков утилизируются, остальные же идут в отвал. Количество отвальных шлаков ежегодно увеличивается приблизительно на 12 млн. т.

Такая ситуация находится в противоречии с современными международными стандартами, требующими внедрения безотходных технологий, при которых всё, что считается отходами, должно подлежать переработке и повторному использованию.

Настоящее исследование посвящено использованию электропечного шлака (ЭПШ), получающегося при производстве ферроникеля из окисленных руд Меланезийского месторождения (о. Новая Каледония, Индонезия и др.) при изготовлении шлакобетонных изделий бесцементных и с цементом.

Указанный ЭПШ использовался в качестве наполнителя наряду с песком, доменным шлаком и добавками (гипс, известь, щебень).

Исследование показало, что бесцементные шлакобетоны имеют прочность на сжатие на порядок меньше, чем шлакобетоны с цементом.

ЭПШ оказался, как и следовало ожидать, менее эффективным по сравнению с доменным шлаком ($\sigma = 0,26$ и $0,54$ МПа). Но, комбинируя ЭПШ с активными добавками в виде гипса и извести, можно получить такие же результаты, как и при использовании доменного шлака.

ЭПШ, в силу специфичности своего химического состава, характеризуется низкими значениями модуля основности M_o , модуля активности M_a и коэффициента качества $K_{кач}$. Поэтому он не может быть равноценным заменителем доменного шлака при производстве шлакобетонов.

В бесцементных шлакобетонах частичная или полная замена доменного шлака на ЭПШ возможна лишь при использовании активных связующих добавок, таких как известь, гипс и другие.

Роль ЭПШ в качестве активной добавки в шлакобетонных смесях резко возрастает при использовании молотого шлака определенного фракционного состава.

В бетонах с цементом ЭПШ является хорошим заменителем щебня, песка и частично цемента. При использовании рационального фракционного состава ЭПШ в сочетании с вяжущими добавками прочность шлакобетона увеличивается в 2,6 раза по сравнению с прочностью стандартного бетона, состоящего из цемента, щебня и песка с добавкой воды.

ЭПШ экономически целесообразно перерабатывать комплексно по месту его производства, так как прибыль всегда выше в конце цепочки превращения сырья в готовую продукцию.

СНИЖЕНИЕ БРАКА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ЗАЛИВАЕМЫХ В КОКИЛЬ, ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА РАСПЛАВ

Селиверстов В. Ю.

(ИМетАУ, г. Днепрпетровск, Украина)

Как известно, улучшение качества отливки, закристаллизованной под давлением, может проявляться не только в заметном измельчении зерна, но и в снижении пористости. Вместе с тем, следует отметить, что применяемые на практике способы осуществления внешних воздействий на кристаллизующийся металл отливки с технологической точки зрения имеют ряд известных недостатков, касающихся, в том числе, ограничений по массе, виду сплава, конфигурации литых заготовок и пр. Одним из направлений активного воздействия на структуру слитков и отливок является газодинамическое воздействие на затвердевающий расплав в литейной форме.

Большое количество «классических» экспериментальных работ и теоретических расчетов процесса затвердевания проводилось применительно к чистым металлам, которые не имеют интервала кристаллизации и кристаллизуются при постоянной температуре. При этом твердая и жидкая части отливки разделяются достаточно четкой границей (фронтом затвердевания), которая последовательно продвигается от поверхности к центру. В случае затвердевания большинства реальных сплавов, которые представляют тип твердых растворов, процесс происходит в интервале температур «ликвидус – солидус». Затвердевание отливок происходит не монолитными слоями с четкой границей между твердой и жидкой фазами, а в переходной зоне двухфазного состояния, в которой одновременно находятся жидкая и твердая фазы. Согласно опытным данным, полученным Н. И. Хвориновым методом выливания жидкого остатка, в твердожидкой зоне, которая остается в виде затвердевшей корки, может содержаться, в зависимости от характера затвердевания, от 10 % до 60 % жидкого металла. Для сплавов с широким интервалом затвердевания характерна

наиболее широкая зона, и это влечет за собой, в конечном итоге, появление дефектов литого металла (прежде всего, пористости), а также необходимость применения специальных технологических мероприятий, направленных на снижение соответствующих негативных последствий. К такого рода мероприятиям можно отнести технологический процесс газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, который позволяет создавать условия и осуществлять нарастающее газовое давление в объеме отливки вплоть до полного ее затвердевания. Под воздействием давления создаются условия для уплотнения металла в двухфазной зоне, что на микроуровне проявляется также в частичном обламывании ветвей растущих дендритов, их перемещении (микроперемешивание жидко-твердого сплава) и недопущении локализации значительных объемов жидкости, приводящей, в последствии, к образованию пористости в отливке.

В литейном цехе ЗАО «Горизонт» (г. Днепропетровск) внедрена технология газодинамического воздействия на расплав при производстве отливок деталей «опорный наконечник стойки конвейера». Отливки данной номенклатуры изготавливают из сплава SC51A (по ASTM США), отечественный аналог – сплав АК5М (ДСТУ 2839-94) способом литья в кокиль. Отличительной особенностью технологии является включение в порядок технологических операций изготовления отливки следующих этапов: 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 1–1,1 МПа и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки. На данный технологический процесс разработана соответствующая инструкция.

В результате внедрения указанной технологии количество брака отливок по рыхлотам и газовым раковинам сократилось на 28 %.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Семёнова Т. В.

(НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина)

В основе разрабатываемой каждым предприятием стратегии развития должны находиться оценка и анализ достигнутого технического уровня производства, сопоставление его с лучшими отечественными и мировыми достижениями с целью определения имеющихся резервов роста уровня техники, технологии, организации производства и управления, использования персонала.

Технический уровень производства – это относительная характеристика, характеризующая степень совершенства технических и технологических факторов (средств труда, предметов труда, технологий) и основанная на сопоставлении некоторых его измерителей с современными достижениями научно-технического прогресса, принятыми в качестве эталона или базы.

Нами предлагается система показателей технического уровня литейного производства, которая включает три группы показателей:

- 1) уровень средств труда;
- 2) уровень предметов труда;
- 3) уровень технологии.

Уровень средств труда предопределяет его техническую оснащенность. Повышение технической оснащенности труда на основе прогрессивной техники является наиболее значимой характеристикой научно-технического прогресса, одной из главных предпосылок роста производительности труда и эффективности производства.

Уровень средств труда предлагается оценивать при помощи следующих показателей: коэффициент физического износа; коэффициент морального износа первого рода; средний возраст машин и оборудования; коэффициент технико-экономического старения; фондовооруженность труда активной частью основных средств; удельный вес машинной формовки в ее общем объеме; удельный вес автоматизированной формовки в ее общем объеме; удельный вес рабочих, выполняющих работу полностью механизированным и автоматизированным способами.

Уровень предметов труда характеризует качество сырья и вспомогательных материалов. Особенность современного этапа развития литейного производства заключается в том, что предметы труда играют в нем все более активную роль. Хорошие материалы дают меньшее количество брака и отходов, следовательно, требуется меньшая масса сырья для получения готовой продукции. Для оценки уровня предметов труда рекомендуются следующие показатели: удельный вес кондиционных основных и вспомогательных материалов для производства отливок в их общем объеме, удельный вес отливок, изготовленных из прогрессивных сплавов в их общем объеме.

Уровень технологии характеризует соответствие применяемых технологических процессов современным тенденциям научно-технического прогресса. Задача технологии заключается в проектировании и использовании на практике эффективных и экономичных производственных процессов, требующих наименьших затрат времени и материальных ресурсов. Выбор оптимальных параметров технологических процессов оказывает все более существенное влияние на эффективность литейного производства.

Уровень технологии предлагается оценивать при помощи следующих показателей: коэффициент использования металла, коэффициент использования отработанных смесей, энергоемкость.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МЕТАЛЛА

Сигарев Н. К., Пронской Л. И., Стороженко С. А.
(ДГТУ, г. Днепропетровск, Украина)

На качество отливок значительное влияние оказывает температурный режим заливаемого сплава. На величину потерь тепла влияют такие факторы, как потери при выпуске расплава из печи, в процессе транспортировки и заливки форм.

Разработка оптимального температурного режима металла, обеспечивающего минимальные потери тепла и стабильность по величине температуры начала разливки сплава, позволит снизить величину брака по таким дефектам, как усадочная рыхлость, трещины, недоливы и др.

Наибольшая величина потерь температуры металла наблюдается за счет аккумуляции футеровкой ковша и за счет излучения с открытой поверхности расплава в ковше.

Установлено, что потери температуры при выпуске (на желобе, открытой струей) составляет в среднем 3–5 °С за время выпуска [1] и значительно различаются при изменении емкости ковша. Так как наибольшие потери обусловлены емкостью, материалом и толщиной стенки футеровки ковша, то рассмотрено влияние этих факторов на величину потерь температуры металла. Влияние емкости ковша на потери (при прочих равных условиях) можно оценить по удельной поверхности контакта футеровки с металлом и удельной поверхностью открытого зеркала металла.

Расчеты производили применительно к коническим крановым ковшам емкостью от 1 до 20 т. Размеры ковшей принимали в соответствии с данными [2].

В связи с тем, что потери тепла определяются материалом футеровки и толщиной стенки (до определенных пределов), то при одинаковом материале в качестве удельного показателя принимали отношение поверхности контакта металла с футеровкой к массе футеровки (ΔF , м²/т).

Установлено, что значительная величина ΔF наблюдается для ковшей емкостью от 1 до 5 т, которая колеблется от 11 м²/т до 10,5 м²/т соответственно.

Для ковшей емкостью от 10 до 20 т эта величина изменяется от 4,8 м²/т до 4,4 м²/т, т. е. почти в два раза меньше, чем для ковшей малой емкости.

Такое же соотношение наблюдается и для отношения удельной поверхности зеркала металла к емкости ковша, что сказывается на величине потерь тепла металлом, которая пропорциональна величине ΔF . Этим и обеспечивается значительное влияние подогрева футеровки ковша на потери.

Таким образом, с целью снижения потерь тепла рекомендуется производить подогрев ковша перед выпуском металла. В большинстве случаев эти рекомендации одинаковы и для ковшей разной емкости. Нами

установлено, что с целью экономии топлива на нагрев футеровки целесообразно подогревать ковши малой емкости до более высоких температур, чем ковши значительной емкости. Так, для снижения потерь тепла в малых ковшах рекомендуется подогрев футеровки до температуры в пределах 700–850 °С, что позволит стабилизировать величину температуры при разливке металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Температурный режим металла в технологическом потоке получения стальных оливок / Пронский Л. И. [и др.] // Сборник научных трудов ДГТУ. – 1995. – Вып. 1. – С. 46–52.

2. Справочник по чугуноному литью / под ред. Н. Г. Гиршовича. – Л. : Машиностроение, 1978. – 758 с

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВАННЫ ПРИ ПРОДУВКЕ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

Стороженко С. А.

(ДГТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

Продувка жидкой стали инертным газом на установке «ковш – печь» является одной из основных технологических операций, направленных на повышение качества металла. Несмотря на достаточное число работ по перемешиванию металлических расплавов, выполненных многими исследователями, вопрос изучения гидродинамики жидкой ванны остается по-прежнему актуальным [1]. Представленная часть данной работы посвящена качественному анализу характера движения потоков расплава, возникающих при продувке инертным газом.

Решение этой задачи выполнялось методом холодного моделирования на физической модели установки «ковш – печь». Предусматривались в качестве моделирующих сред вода, воздух и красящее вещество. При исследовании гидродинамики потоков жидкой стали, перемешиваемой инертным газом, в качестве критерия для определения геометрического масштаба модели использовали число Вебера. В качестве натурального образца принимали 250 т ковш. Учитывали свойства жидкостей для натурального образца и модели – плотность и поверхностное натяжение. После произведенных расчетов определили, что для соблюдения числа Вебера необходимо уменьшить поверхностное натяжение воды путем нагревания ее приблизительно до 70 °С.

Задачей первого этапа исследований являлось определение (при постоянном расходе газа) способов продувки УКП, позволяющих обеспечить полное перемешивание расплава за минимальное время. Исследования

взаимодействия воздушных струй и воды производили по следующим вариантам: а) продувка жидкой ванны через пористые пробки, установленные в днище ковша; б) продувка через пористые пробки, установленные в днище ковша, с одновременной подачей воздуха сверху через фурмы, направленные вертикально вниз. В результате эксперимента было установлено, что длительность гомогенизации жидкой ванны сокращается на 20 % при применении, наряду с донной, верхней продувки.

Однако на практике по технологическим показателям продувка через верхние фурмы невозможна, поэтому роль фурм была отведена электродам, которые значительно влияют на гидродинамические явления в дуговых печах [2], которой, в сущности, и является УКП. Известно, что в самой ванне токи механически взаимодействуют между собой и токами дуг электродов. Их можно оценить качественно и они будут следующие: 1) ток ванны, идущий от данного электрода, будет отжиматься вглубь ванны током этого электрода; 2) металл ванны должен испытывать сжимающие усилия, благодаря явлению пинч-эффекта; 3) токи ванны, протекающие между различными электродами, будут испытывать взаимное притяжение и отталкивание.

Таким образом, все вышеперечисленные усилия создают движение потоков в металлической ванне, благоприятствующее процессам гомогенизации.

Вторым этапом работы явилось исследование гидродинамики жидкой ванны при различном взаимном расположении: а) нижних продувочных отверстий, которые имитируют донные пробки; б) верхних продувочных отверстий (фурм), которые имитируют работу электродов в установке «ковш – печь». Было учтено, что на практике, в производственных условиях, есть возможность изменять количество и месторасположения продувочных отверстий в дне ковша. Исследовали следующие варианты: а) верхние фурмы расположены на одной оси с донными пробками; б) верхние фурмы смещены на 60° относительно донных пробок; в) фурмы смещены на 30° относительно донных пробок.

Установлено, что изменение взаимного расположения донных продувочных отверстий относительно электродов позволяет влиять на эффективность работы УКП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еронько С. П., Быковских С. В. *Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали.* – К. : Техника, 1998. – 136 с.
2. Марков Б. Л., Кирсанов А. А. *Физическое моделирование в металлургии.* – М. : Металлургия, 1984. – 119 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ЛИТИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Cu-Ti-Zr

Сторчак-Федюк А. М., Петюх В. М., Артюх Л. В.
(ІПМ ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна)

Сучасний інтерес до потрійної системи Cu-Ti-Zr викликаний наявністю в цій системі великої області аморфізації при швидкому загартуванні рідких сплавів. Є декілька експериментальних та розрахункових робіт, присвячених цій проблемі [1–7]. На жаль, існують розбіжності між експериментальними та розрахованими фазовими рівновагами та висновками про напрямки реакцій, що відбуваються в системі. У даній роботі досліджено структуру литих сплавів та температури їх плавлення і на цій основі робляться висновки про будову поверхні солідуса.

Було виплавлено в дуговій печі ($V_{\text{оохолодження}} = 100^\circ/\text{сек.}$) та досліджено сплави 47 складів. Структуру сплавів досліджували методами рентгенофазового аналізу (РФА), металографії (оптична і скануюча електронна мікроскопія) та локального рентгеноспектрального аналізу (ЛРСА). Температуру плавлення визначали методом диференційного термічного (ДТА).

Даними РФА та ЛРСА нами підтверджено існування в системі Cu-Ti-Zr тернарної сполуки $\text{Cu}_{50}\text{Ti}_{25}\text{Zr}_{25}$ (τ) (% ат.) з періодами ґратки $a = 0,5143$ нм, $c = 0,8231$ нм, яку вперше було знайдено в роботі [4]. Мікроструктура цієї сполуки свідчить, що вона кристалізується з розплаву конгруентно. За даними ДТА, сполука має температуру плавлення 848°C .

Мікроструктура, дані локального рентгеноспектрального та рентгєнівського фазового аналізів десяти сплавів (складу від ~30 до 60 % ат. Cu), що містять тернарну фазу, підтверджують висновки [1, 7] про те, що ця фаза має помітну область гомогенності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Woychik C. G. Phase diagram relationship in the system Cu-Ti-Zr / Woychik C. G., Massalski T. B. // *Z. Metallkd.* – 1988. – V. 79, N. 3. – P. 149–153.
2. Чеботников В. Н., Молоканов В. В. // *Изв. АН СССР. Неорган. материалы.* – 1990. – № 5. – Т. 26. – С. 960–964.
3. Ковнеристый Ю. К. Объемная аморфизация сплавов интерметаллидсодержащей системы Ti-Cu-Zr / Ковнеристый Ю. К., Пашиковская А. Г. // *Аморфные металлические материалы. РАН. Ин-т металлургии.* – М., 1992. – С. 153–157.
4. Теслюк М. Ю. Интерметаллические соединения со структурой фаз Лавеса. – М.: Наука, 1969. – 238 с.
5. Arroyave R. Thermodynamic Assessment of the System Cu-Ti-Zr / Arroyave R., Eagar T. W., Kaufman L. // *J. of Alloys and Compounds.* – 2003. – N. 351 (1–2). – P. 158–170.
6. Klotz U. E. Experimental investigation of the Cu-Ti-Zr system at 800°C / Klotz U. E., Liu C., Uggowitzer P. J., Löffler J. F. // *Intermetallics.* – 2007. – N. 15. – P. 1666–1671.
7. Агравал П. Г., Абдулов А. Р., Древаль и др. *Proc. Int. Conf. High-MatTech, Kiev.* – 2007. – С. 142.

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОТЛИВКИ «БРУС» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКМ ProCAST

Тараненко Н. А., Гутько Ю. И.
(ВНТУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)

В настоящее время наиболее распространены следующие системы компьютерного моделирования (СКМ): ProCAST, Полигон, WinCAST, MagmaSoft, LVMFLOW. Пока системы компьютерного моделирования в Украине не получили широкого применения из-за, во-первых, недоверия к возможностям виртуального моделирования физических процессов в системе отливка-форма и ориентация на опыт технологов-литейщиков, во-вторых, сказывается дефицит специалистов, совмещающих знания в области литейного производства с достаточной компьютерной грамотностью.

В связи с этим кафедра промышленного и художественного литья Восточнoукраинского национального университета имени Владимира Даля (г. Луганск) ввела в учебные планы дисциплины по компьютерным технологиям в литейном производстве. Кроме этого, получила учебную лицензию на систему компьютерного моделирования процессов литья «ProCAST». ProCAST представляет собой систему компьютерного 3D-моделирования литейных процессов методом конечных элементов (МКЭ). Оригинальным разработчиком этого программного продукта является UES Inc. (США), ряд модулей разработаны швейцарской фирмой Calcom SA. В 2003 году обе фирмы вошли в состав группы компаний ESI Group (Engineering Systems International).

ProCAST позволяет моделировать практически все варианты литейных технологий. Геометрия отливки может быть самой сложной.

В данной работе было проведено виртуальное моделирование технологического процесса отливки «брус» с использованием СКМ ProCAST для повышения коэффициента использования жидкого металла (КИЖМ), выбора положения отливки при заливке типа литниковопитательной системы (ЛПС) и определения места установки и размеров прирублей для получения бездефектной отливки.

В результате виртуального моделирования технологических параметров литья стальной отливки «брус» было определено оптимальное положение отливки при заливке, тип литниковопитательной системы, место расположения прирублей и их размеры, что позволило без дорогостоящих натуральных экспериментов повысить КИЖМ до 75 % и ликвидировать усадочные дефекты в отливке.

На данный момент кафедра промышленного и художественного литья сотрудничает с ЗАО «Луганский литейно-механический завод», который приобрел лицензию на использование программы «ProCAST» и успешно применяет для виртуального моделирования литейных процессов получения стальных отливок.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ Ti-B-Si-C В ОБЛАСТИ СОСТАВОВ V_4C -SiC-TiB₂

Турчанин М. А.¹, Агравал П. Г.¹, Великанова Т. Я.²,

Бондар А. А.², Корниенко К. Е.², Картузов В. В.²

¹ ДГМА, г. Краматорск, Украина;

² ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины, г. Киев, Украина)

Индивидуальные соединения V_4C , SiC, TiB₂, TiC обладают комплексом ценных эксплуатационных свойств и являются основой для создания керамических материалов различного назначения – абразивов, износостойких конструкционных материалов и др. Ряд опубликованных работ посвящен разработке материалов на основе систем TiB₂- V_4C , TiB-TiC, TiB₂-SiC, TiB₂-SiC- V_4C , образованных этими соединениями. Вопреки ожиданиям и усилиям технологов, последним не удалось синтезировать композиты на основе последней из перечисленных систем с высокодисперсной эвтектической структурой. Ожидалось, что TiB₂-SiC- V_4C является квазитройной системой эвтектического типа.

Для проверки этого предположения в рамках CALPHAD-метода выполнен расчет фазовых равновесий в системе TiB₂-SiC- V_4C . Термодинамические модели фаз системы Ti-B-Si-C разработаны с использованием моделей тройных систем [1–3] и двухкомпонентных систем [4–6].

Анализ результатов расчета показывает, что область V_4C -SiC-TiB₂ не является истинной квазитернарной системой, а обнаруженный экспериментально минимум на ликвидусе лежит в области моновариантного процесса кристаллизации. В результате этого при охлаждении композита из твердо-жидкого состояния реализуется грубая конгломерантная структура, не обеспечивающая ожидаемого высокого уровня эксплуатационных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bittermann H., Duschaneck H., Rogl P. *Phase Diagrams of Ternary Metal-Boron-Carbon Systems* // Ed.G. Effenberg, ASM-International, MSI. – 1998. – P. 278–287.
2. Du Y., Schuster J. C., Seifert H. J., Aldinger F. // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2000. – V. 83, N. 1. – P. 197–203.
3. Yang Y., Chang Y. A., Tan L. // *Intermetallics*. – 2005. – V. 13. – P. 1110–1115.
4. Kasper B. *Thesis, Max-Planck Institut – PML, Stuttgart, Germany, 1996.*
5. Lim S. K., Lukas H. L. *COST 507, 2* // *European Communities, Luxembourg*. – 1988. – P. 77.
6. Groebner J., Lukas H. L., Aldinger F. // *Calphad*. – 1996. – V. 20. – P. 247–254.

ПОПЕРЕДНЄ ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЕКТІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Ульянов О. М., Чернишова Н. В., Грибкова С. М.
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна)

Створення відносно простої універсальної методики економічного обґрунтування технологічних проектів ливарного виробництва дозволить виконати перший орієнтовний розрахунок доцільності проекту.

Вихідними даними є результати розрахунків, які виконує виконавець проекту. Це, у першу чергу, тип проекту, а також площа промислового будинку і його об'єм, річна потреба в усіх видах основних матеріалів і енергоресурсів для технологічних цілей, трудомісткість виконання робіт і потреба у всіх категоріях працівників.

Усі розрахунки виконуються в чотири етапи:

Перший етап – визначення вартості основних виробничих фондів (ОВФ).

Вартість побутових будинків, а також споруджень і передатних устроїв, офісних меблів і оргтехніки визначається за укрупненою схемою у відсотках від вартості виробничих будинків й залежить від типу проєктованого цеху. Пропонується методика розрахунку вартості всього устаткування.

Другий етап – визначення собівартості продукції, що випускається. Перелік витрат для визначення собівартості розбитий на чотири статті:

- прямі матеріальні витрати;
- прямі витрати на оплату праці;
- інші прямі витрати;
- загальновиробничі витрати.

Третій етап – визначення ціни продукції та інших техніко-економічних показників.

Ціна, можливий річний дохід і можливий річний чистий прибуток від реалізації продукції а також інші техніко-економічні показники проекту визначаються за традиційними методиками. Приймається, що прибуток може бути отриманий тільки від реалізації продукції. Величину прибутку визначають за витратним методом, тобто у відсотках від виробничої собівартості.

Четвертий етап – визначення строків окупності проекту.

Запропонована формула для визначення строку окупності вкладень в основні виробничі фонди, якщо вони були виконані власними коштами:

$$T_{O.CB} = 1 + \frac{\Phi_{3AG}}{P_{чист.ррч} + A_{вд}}$$

де 1 – один рік на капітальне будівництво;

$\Phi_{\text{зл}}^*$ – загальна вартість основних виробничих фондів, грн., визначена на першому етапі розрахунків;

$\Pi_{\text{чист річ}}$ – чистий річний прибуток, грн., визначений у третьому етапі розрахунків;

$A_{\text{вид}}$ – амортизаційні відрахування, грн., визначені на другому етапі розрахунків.

Строк окупності вкладень в основні виробничі фонди, якщо вони були виконані зайнятими в банку коштами (реально – під 22–28% річних), визначається з використанням положень, які не вимагають великої кількості розрахункових даних.

Для визначення строку окупності розраховуються обсяги грошових потоків по роках і будується відповідний графік.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЛИТИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Fe-Mo-B, БАГАТИХ НА ЗАЛІЗО

Уткін С. В., Кублій В. З., Петюх В. М., Лисенко С. І.,
Бондар А. А., Великанова Т. Я.

(ІІМ ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна)

Системи Fe-Mo-B та Mo-Ni-B привертають увагу як базові для розробки твердих безвольфрамкових сплавів та високотемпературних припоїв [1, 2]. Фазові рівноваги в системі Fe-Mo-B вивчені тільки для твердого стану при 1000 °С [3]. Літературні дані про поверхні ліквідуса та солідуса відсутні [4].

У даній роботі досліджували в литому стані сплави системи Mo-Fe-B, багаті на залізо. Було досліджено сплави складів по ізоконцентратом 12 % (ат.) В, а також окремі сплави з подвійних обмежуючих систем Fe-B та Fe-Mo. Сплави отримували дуговою плавкою в середовищі аргону із лігатур (ат. %) 60Fe-40Mo, 55Fe-45B, 72,5Mo-27,5B, 50Mo-50B, що були виготовлені у тих самих умовах, та порошок молібдену і карбонільного заліза. Вихідні матеріали мали чистоту % (мас.): залізо – 99,9; молібден – 99,9; аморфний бор – 99,4. Порошок молібдену очищували переплавленням у дуговій печі.

Досліджували методами металографії, рентгенівського фазового аналізу (РФА), диференційного термічного аналізу (ДТА). Проводили вимірювання мікротвердості фаз на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,49 Н.

Отримано відомості про первинні фази в литих сплавах. Поряд із первинними фазами спостерігається структурна складова у вигляді високодиференційованих евтектичних колоній. Виявлено бінарні фази та потрійну фазу Mo_2FeB_2 . Отримано температури початку плавлення сплавів. Досліджено мікротвердості структурних складових литих сплавів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Takagi K. *Development and application of high strength ternary boride base cermets* // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2006. – № 179. – P. 2809–2818.
2. Youngguo W., Zhaoqian L. *Development of ternary-boride-based hard cladding material* // *Materials Research Bulletin*. – 2002. – № 37. – P. 417–423.
3. Гладышевский Е. И., Фёдоров Т. Ф., Кузьма Ю. Б., Сколоздря Р. В. *Изотермическое сечение системы молибден-железо-бор* // *Порошковая металлургия*. – 1966. – № 4. – С. 55–60.
4. Korniyenko K., Bondar A., *Boron-Iron-Molybdenum*, in: *Landolt-Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, (New Series) Group IV: Physical Chemistry. Ed. W. Martinsen, «Ternary Alloy Systems. Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data Critically Evaluated by MSIT», G. Effenberg, S. Ilyenko (Eds.)*. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007. – Vol. 11C3, , P. 354–367.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ФОРМОВОЧНЫХ ГЛИН ИЗ МЕСТНОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ

Федоров Н. Н.

(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Важнейшим компонентом песчано-глинистой формовочной смеси, определяющим ее свойства и, следовательно, качество литейной формы является бентонит. Основными характеристиками бентонитов, как связующих в формовочных смесях для изготовления сырых литейных форм, являются их прочность на сжатие в сыром состоянии и термическая устойчивость. Эти свойства в значительной степени определяются природными особенностями бентонитов и существенно различаются для сырья из различных месторождений, что обусловлено в первую очередь различной морфологией мельчайших кристаллов, из которых состоит порода.

В работе изучены свойства бентонитов трех месторождений Украины: Черкасского, Донецкого и Закарпатского. В процессе исследований установлено, что максимальной термостойкостью обладает донецкий (ДБ) бентонит (0,88), по сравнению с черкасским (0,75) и закарпатским (0,68). Более высокая термостойкость ДБ объясняется большей упорядоченностью его структуры, по сравнению с другими отечественными разновидностями, что подтверждается результатами рентгено-дифракционного и дифференциально-термического анализов, и обуславливает его сравнительно меньший расход как освежающей добавки в смесях со значительным количеством оборотных формовочных смесей.

Однако, наряду с основным преимуществом ДБ – высокой термостойкостью, имеется и существенный недостаток: вследствие своей большей структурной упорядоченности он заметно медленнее усваивает воду и набирает прочность в процессе смесеприготовления. Так, предел прочности смеси на сжатие в сыром состоянии с 5 мас. ч. ДБ после 6 мин. перемешивания в катковых бегунах составил 0,050 МПа, в то время как для черкасского и закарпатского бентонитов этот показатель находился на уровне 0,080 и 0,076 МПа соответственно. Т. е. черкасский и закарпатский бентониты усваиваются сравнительно быстрее и требуют меньших затрат времени на смесеприготовление.

В задачу работы поставлены исследования физико-механической активации перспективной бентонитовой глины донецкого месторождения, отличающейся от аналогов повышенной термостойкостью, с целью повышения прочности и, одновременно, сокращения времени перемешивания формовочных смесей с этим бентонитом, разработке на его основе комплексного связующего с модифицирующими добавками глин, отличающихся от базового бентонита по своей кристалломорфологии.

Комбинированные связующие приготавливались при совместном помоле в шаровой мельнице (ДБ) с другими глинистыми добавками (каолинит, палыгорскит) при различных количествах последних: 5, 10 и 15 мас. %.

При исследованиях практически во всех случаях комбинированного применения ДБ с другими глинистыми материалами был выявлен эффект повышения прочности смеси на первых минутах смесеприготовления. Такое изменение свойств ДБ объясняется его механической активацией минералами, отличающимися от ДБ по своей структуре и морфологии, благодаря чему происходит диспергирование бентонита на микроуровне. В результате, при тонком помоле смеси глин с различной кристалломорфологией происходит более эффективное их диспергирование.

Таким образом, смешивание бентонитовых глин разных месторождений позволяет получать более высокие технологические показатели бентопорошков, по сравнению с вариантом их производства из сырья одного месторождения. При этом повышается прочность и одновременно уменьшается время перемешивания для приготовления качественной смеси. На основе проведенных экспериментальных исследований разработаны рекомендации, которые внедрены в условиях ОАО «Завод утяжелителей» при производстве бентопорошков, изготавливаемых из смесей глинистого сырья разных месторождений.

НОВЫЕ ЖАРСТОЙКИЕ БЕЗНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ НИХ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 1300 °С

Федоров Г. Е., Платонов Е. А., Кузьменко А. Е., Ямшинский М. М.
(НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Современные жаростойкие и жаропрочные сплавы, которые используют для изготовления литых деталей, содержат в своем составе значительное количество дорогих и дефицитных элементов. Кроме того, они малотехнологичны как литейные материалы, поскольку содержат незначительное ($< 0,1\%$) количество углерода. Низкое содержание углерода существенно ухудшает основные литейные характеристики – жидкотекучесть, линейную усадку, трещиностойчивость.

К сожалению, технологические свойства жаростойких сплавов на основе железа изучены крайне мало.

Выбор оптимальной температуры жаростойкого сплава перед разливкой его в литейные формы при производстве отливок ответственного и особо ответственного назначения зависит от его химического состава и имеет первостепенное значение.

Определенную жаростойкость железу приобретает после добавления в него более 13 % хрома, а удовлетворительные механические свойства хромистого сплава сохраняет – до 35 % хрома. С увеличением содержания хрома повышается окалиностойкость сплавов.

Улучшить технологические и эксплуатационные характеристики железохромистых сплавов можно легированием их определенным количеством алюминия и титана, а также выбором оптимального содержания углерода.

Поскольку титан является интенсивным карбидообразующим элементом, теоретический и практический интерес представляет определение оптимального соотношения в хромоалюминиевых сталях углерода и титана с учетом влияния этих элементов на литейные, механические и специальные свойства.

Установлено, что повышение содержания углерода от 0,08 до 0,79 % улучшает практическую жидкотекучесть всех исследованных сталей, как и добавление титана до 0,35 %.

Изменение концентрации углерода в указанных пределах измельчает зерно стали с 180 до 40 мкм, а присадки титана до 0,35 % – с 82 до 48 мкм, что существенно улучшает как механические, так и эксплуатационные свойства.

Наилучший комплекс литейных и механических свойств имеет среднеуглеродистая высокохромистая сталь с содержанием до 2,0 % алюминия и до 0,6% титана.

Жаростойкие хромоалюминиевые стали оптимального химического состава обладают высокими окалиностойкостью, термостойкостью и износостойкостью. Они в 6–8 раз превосходят по окалиностойкости хромо-

никелевые стали при температурах эксплуатации выше 1200 °С, по термостойкости – в 1,5–2,0 раза, по износостойкости – в 2,0–3,0 раза.

Новые безникелевые жаростойкие стали могут быть использованы для изготовления литых деталей для теплоэнергетики, черной металлургии, химической и других отраслей промышленности.

Использование деталей, изготовленных из этих сталей, на тепловых электростанциях (насадки горелок, форсунки, газовые сопла и др.) позволяет в 4–6 раз продлить срок их службы, снизить стоимость электроэнергии, сократить ремонтные затраты, уменьшить расход топлива на производство электроэнергии и полностью исключить из жаростойких конструкций сплавы, содержащие никель, кобальт, молибден.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 35X06СЛ

Федьков А. В.¹, Федьков В. А.², Федьков Г. А.³, Минакова В. И.²
(¹ ОАО «Запорожсталь»; ² ЗНТУ; ³ ЗГИА, г. Запорожье, Украина)

Известно [1, 2], что уровень физико-механических и эксплуатационных свойств зависит от содержания вредных примесей и, в первую очередь, серы; с другой стороны – формой, количеством и характером распределения неметаллических включений.

Исследовали влияние серы и модифицирования силикокальцием и силицидами РЗМ на механические свойства, индекс загрязненности и хладостойкость стали 35X06СЛ.

Плавки проводили по типу 2², при этом содержание серы изменялось в пределах 0,006 до 0,028 %. Раскисление проводили в печи алюминием в количестве 1 кг на тонну жидкого металла; силикокальций в количестве 1,5 кг на тонну задавали на струю металла, а силициды РЗМ в количестве 1 кг на тонну на дно ковша.

Термическая обработка стали опытных плавок заключалась в закалке от 900 °С с охлаждением в воде и отпуске от 680 °С с последующим охлаждением в воде.

Результаты испытаний показали, что индекс загрязненности стали увеличился с $0,328 \cdot 10^{-3}$ до $0,841 \cdot 10^{-3}$ при содержании серы от 0,006 до 0,028 % соответственно, повышение индекса загрязненности происходило за счет увеличения общего содержания сульфидов и окисульфидов; ударная вязкость уменьшилась в 2 раза при испытании образцов при 20 °С и в 2,4 раза при -40 °С.

Каждая 0,001 % серы приводила к уменьшению ударной вязкости в среднем на 0,0382 МДж/м²; относительного удлинения на 0,54 %, сужения на 1,24 %; на показатели прочности и твердости сера практически не оказала влияния.

Изучено влияние силикокальция и силицидов РЗМ на свойства стали 35Х06СЛ с различным содержанием серы. Комплексное модифицирование стали 35Х06СЛ с содержанием 0,028 % серы, 0,1 % алюминия, 0,15 % силикокальция и 0,1 % силицидов РЗМ привело к повышению ударной вязкости в среднем на 50 % при испытании образцов при +20°С и на 65 % при -40°С; относительное удлинение и сужение увеличилось на 35 %, показатели прочности и твердости остались на одном уровне. Повышение механических свойств можно объяснить уменьшением загрязненности стали неметаллическими включениями, изменением их формы от остроугольных до глобулярных, а также равномерным их распределением в объеме отливки.

Модифицирование стали 35Х06СЛ с содержанием серы 0,006 % дало обратные результаты. Ударная вязкость при испытании образцов при +20°С и -40°С снизилась в среднем на 20%, относительное удлинение и сужение – на 40 %, что связано с увеличением количества неметаллических включений.

Таким образом, полученные результаты показали, что снижение серы в стали 35Х06СЛ является большим резервом повышения механических и эксплуатационных показателей стальных отливок. Установлено, что дополнительное модифицирование стали эффективно при содержании серы выше 0,015 % и не целесообразно при концентрациях менее 0,010 % серы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лунев В. В., Шульте Ю. А. *Применение комплексных лигатур с РЗМ ЦЗМ для улучшения свойств литых и деформированных сталей.* – М.: Металлургия, 1982. – С. 32–50.
2. Шульте Ю. А. *Производство отливок из стали.* – Киев; Донецк: Вища школа, 1983. – 184 с.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА РАЗРУШЕНИЕ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

Федьков А. В.¹, Федьков В. А.², Федьков Г. А.³, Минакова В. И.²
(¹ ОАО «Запорожсталь»; ² ЗНТУ; ³ ЗГИА, г. Запорожье, Украина)

Способность высокомарганцевой стали подвергаться наклепу и приобретать твердую износостойчивую поверхность без изменения вязкости изделия в целом позволяет применять ее в качестве материала, противостоящего износу в условиях комбинированного воздействия истирания и ударных нагрузок. Ресурс работы у деталей из высокомарганцевого литья зависит от того, что является преобладающим – износ или наклепываемость. Если упрочнение опережает износ, ресурс работы деталей и надежность повышается.

Исследование изменения твердости металла при контактном деформировании показало, что дополнительные элементы увеличивают интенсивность роста твердости стали при увеличении работы деформации в области небольших значений последней. Установлено, что сталь 110Г13Л с добавками полимодификатора (0,3 %), полученного из хлоридных отходов титано-магниевого производства, благодаря присутствию в нем нитридо- и карбидообразующих элементов (титана, ванадия, хрома, ниобия и тантала), имела наибольшее значение твердости металла при контактном деформировании по сравнению с исходной сталью и сталью, модифицированной титаном (0,1 %) или ванадием (0,2 %).

Более высокая способность к наклепу стали с добавками была подтверждена также и при исследовании интенсивности измельчения блоков субструктуры при ударном деформировании.

Установлено, что упрочнение стали с добавками титана и полимодификаторов практически завершилось при 10 %-ной деформации; с добавками ванадия – при 15 %-ной, а сталь 110Г13Л стандартного состава достигла такого уровня лишь при 25 %-ной деформации. Положительное влияние на наклеп стали добавок, образующих дисперсные частицы, объясняется тем, что эти частицы являются эффективными препятствующими пластическому течению металла.

Изучено влияние титана, ванадия, фосфора и полимодификаторов (отходы титано-магниевого производства), содержащих ценные высокоактивные элементы – титан, ванадий, магний, ниобий, тантал, алюминий, хром и др. на абразивную и ударно-абразивную износостойкость.

Влияние различных вариантов модифицирования на абразивную и ударно-абразивную износостойкость стали 110Г13Л приведены в таблице 1.

Таблица 1
Влияние модифицирования на износостойкость стали 110Г13Л

№ п/п	Вариант производства	Относительная износостойкость	
		при ударно-абразивном изнашивании	при абразивном изнашивании
1	-	2,12	1,42
2	0,2 % Ti	2,54	1,53
3	0,25 % V	2,75	1,55
4	низкий фосфор (0,03 %)	3,05	1,49
5	0,3 % полимодификатора	2,75	1,60

Как видно из таблицы 1, ударно-абразивная износостойкость стали с полимодификатором находится на уровне износостойкости стали с ванадием, но несколько ниже, чем для низкофосфористой стали; абразивная стойкость стали с полимодификатором оказалась наиболее высокой.

На основании проведенных исследований установлено, что использование полиметаллического модификатора при выплавке износостойкой высокомарганцевой стали 110Г13Л является большим резервом повышения эксплуатационных характеристик отливок, работающих в тяжелых условиях абразивного и ударно-абразивного нагружения.

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Федьков А. В.¹, Лунев В. В.²

¹ ОАО «Запорожсталь»; ² ЗНТУ, г. Запорожье, Украина)

Известно [1, 2], что около 90 % от всех неметаллических включений составляют сульфиды и оксисульфиды и, которые в свою очередь в значительно большей степени, чем фосфор отрицательно влияют на весь комплекс свойств конструкционных литых сталей. Известно [3] также, что в чугунах сера является демодификатором и увеличивает расход дорогостоящего магния и РЗМ-содержащих лигатур, применяемых при производстве высокопрочных чугунов с шаровидной формой графита.

В связи с этим снижение содержания серы в железоуглеродистых сплавах является одним из путей повышения качества стальных и чугунных отливок.

В настоящее время одним из наилучших плавильных агрегатов для проведения процессов десульфурации является дуговая электропечь с основной футеровкой. Однако в литейных цехах в связи с экологической, технологической и экономической точек зрения широко внедряются индукционные тигельные печи.

Существенным недостатком индукционных печей является невозможность проведения десульфурации из-за вязких низкотемпературных шлаков, однако проблема снижения серы в индукционных печах остается и является весьма актуальной.

Изучали возможность десульфурации чугуна и стали в индукционной печи с основной футеровкой. В процессе завалки в нижние слои металлошихты задавали десульфурierende смеси, состоящие из порошков свежееобожженной извести, плавикового шпата и др., разжижающих добавок и восстановителя (кремний или карбюризаторы).

Восстановительные десульфурierende горячие активные шлаки образуются в нижней части тигля уже в начале процесса плавления и в течение всей операции активно взаимодействуют с расплавом. Характерное для индукционной печи электродинамическое перемешивание расплава обуславливает непрерывный массообмен металла и шлака, приводящий к глубокой десульфурации сплава. Удельная контактная поверхность обеих фаз настолько велика, что процессы рафинирования и десульфурации практически завершаются в период расплавления шихты.

Методами планируемого многофакторного активного эксперимента установили оптимальные условия десульфурации для ряда железоуглеродистых сплавов. Степень десульфурации при плавке чугуна обычно превышала 90 %, при плавке стали – 80 %, а конечное содержание серы, независимо от начального, во всех опытных плавках снижалось до 0,005–0,008 %. Так, при плавке чугуна, содержащего 0,16–0,20 % серы, ее содержание по расплавлению металла снижалось до 0,006–0,008 %, а при плавке синтетического чугуна на стальном ломе с карбюризатором снижалось с 0,04–0,05 до 0,005 %.

Исследования показали, что использование столь чистого по сере чугуна особенно эффективно для производства высокопрочного чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом. При этом достигается минимальный расход магниевых или редкоземельных модификаторов.

Проведенные исследования принципиально расширяют технологические возможности индукционных печей и будут способствовать их более широкому применению их в литейном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лунев В. В., Аверин В. В. *Сера и фосфор в стали*. – М. : Машиностроение, 1988. – 256 с.
2. Волчок И. П. *Сопротивление разрушению стали и чугуна*. – М. : Металлургия, 1993. – 192 с.
3. Шебастинов М. П. и др. *Высокопрочный чугун в автомобилестроении*. – М. : Машиностроение, 1988. – 216 с.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ И ТЕРМОСТОЙКИЕ ЛИТЫЕ СТАЛИ ДЛЯ ОТЛИВОК ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Федьков А. В.¹, Федьков В. А.², Минакова В. И.²
(¹ ОАО «Запорожсталь»; ² ЗНТУ, г. Запорожье, Украина)

На основании глубокого анализа было установлено, что работоспособность горнообогатительного и металлургического оборудования зависит от стойкости коронок зубьев и ковшей тяжелых импортных бульдозеров «Фиаталис» и «Катерпилар»; стойкости кремальерных шестерен, реек и зубчатых венцов экскаваторов ЭКГ 4 и ЭКГ 8; стойкости секторов барабанов, моталок прокатных станов. Эти детали работают в тяжелых условиях ударно-абразивного и коррозионного износа, высоких удельных давлений, знакопеременного нагружения при положительных и отрицательных температурах, а также термоциклического воздействия температур от 750 до 120 °С.

По вине перечисленных деталей простоей экскаваторов и тяжелых бульдозеров составляют около 50 %, молотков дробилок – 70 %, моталок прокатных станов – около 25 % от общего числа простоев оборудования, а материальный ущерб исчисляется сотнями тысяч гривен.

В настоящее время зубчатые венцы, кремальерные шестерни и рейки изготавливаются из низколегированных сталей 35ХН2ВЛ, 35ХН2МЛ и 30ХНМЛ, молотки дробилок – высокомарганцевой стали 110Г13Л, коронки тяжелых бульдозеров – 27ХГСНМДТЧЛ, сектора барабанов – 12ДХН1МФЛ. Как видно, все они содержат дорогостоящие дефицитные элементы или высокое содержание марганца.

Анализ механизма разрушения перечисленных деталей показал, что основными источниками образования микротрещин, приводящих к разрушению отливок, являются неметаллические включения (НМВ) и в первую очередь сульфиды и окисульфиды.

Взамен вышеуказанных сталей разработана универсальная экономолегированная сталь 35X06СЛ. Изучено влияние загрязненности металла на механические и эксплуатационные свойства этой стали.

Исследования загрязненности стали 35X06СЛ на процессы трещинообразования при статических и динамических нагрузках показали, что суммарная длина микротрещин, проходящая через включения для стали с низким содержанием серы (0,006 %), была на порядок меньше суммарной длины, проходящих через включения для стали с повышенным содержанием серы (0,028 %).

Испытания образцов из стали 35X06СЛ на ударно-абразивный и ударно-абразивно-коррозионный износ показали, что относительная износостойкость стали 35X06СЛ находилась практически на одном и том же уровне по сравнению со сталями 35ХН2ВЛ, 35ХН2МЛ, 35ХНМЛ и 27ХГСНМДТЧЛ, широко применяемых для ответственных отливок горнодобывающего оборудования.

Дополнительное легирование стали 35X06СЛ ванадием и бором позволило повысить физико-механические свойства, относительную износостойкость при ударно-абразивном и абразивно-коррозионном износе.

Были проведены исследования на термостойкость опытных сталей 35X06СФЛ и 35X06СФРЛ и стали 12ДХН1МФЛ, широко применяемой для секторов барабанов моталок прокатных сталей. Повышение термостойкости исследуемой стали можно объяснить за счет измельчения структуры, увеличения прокаливаемости, обрамления вокруг зерен плотного сплошного каркаса из карбонитридных включений, уменьшения загрязненности металла.

На основании проведенных исследований предложены новые износостойкие, коррозионностойкие и термостойкие стали 35X06СЛ, 35X06СФЛ, 35X06СФРЛ.

ЛИКВАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В КРУПНЫХ ПОКОВКАХ СТАЛИ М27

Фельдман В. Е.

(ОАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Низкоуглеродистая сталь М27 применяется для изготовления крупных судовых валов. Для этих целей необходимо получение слитков массой 132 т, которые затем подвергаются ковке и термической обработке. Поскольку ликвация элементов в крупных слитках влияет на ликвацию элементов в поковках, подробно исследовали распределение элементов в поковках.

О степени ликвации элементов по сечению заготовок судили по коэффициенту неоднородности: отношение процентного содержания исследуемого элемента в металле центральной зоны поковки (у осевого канала) к процентному его содержанию в рассматриваемой точке. По длине заготовок коэффициент неоднородности принимали равным отношению процентного содержания данного элемента в прибыльной части (наиболее загрязненной) к его содержанию в донной части в соответствующей зоне.

В исследуемых поковках наблюдается общая закономерность в направленности изменений содержания элементов в пределах одного сечения: в донных частях поковок по направлениям от поверхности к центру содержание легирующих элементов уменьшается, а в прибыльных частях в этом же направлении увеличивается.

В анализируемой стали элементы в порядке убывающей склонности к ликвации (по сечению) можно расположить следующим образом: сера (средний коэффициент неоднородности по двум поковкам – 0,88), углерод (коэффициент неоднородности – 0,91), кремний и марганец (средний коэффициент неоднородности – 0,985). Стабильно содержание во всех точках, подвергающихся анализу, хрома, никеля, молибдена, меди, ванадия, циркония.

Неоднозначен характер распределения элементов по сечению прибыльной части заготовок: ближе к центру сечения увеличивается содержание углерода, серы и фосфора. Содержание хрома, никеля, молибдена, меди, ванадия, циркония, практически не меняется.

Особый интерес представляют результаты химического анализа металла поковки, выполненного на половине длины заготовки. Эта часть поковки соответствует той зоне исходного слитка, в которой произошло смещение металла двух плавок. Прежде всего, следует отметить, что содержание всех элементов в этой зоне находится в полном соответствии с требованиями по составу стали М27, наибольшая неоднородность в этой зоне проявляется по углероду (коэффициент неоднородности 1,12), сере (1,26), фосфору (1,38) и цирконии (1,5). От поверхности к центру заметно увеличивается содержание кремния, марганца, хрома, меди. Равномерно содержание по сечению никеля, молибдена и ванадия. Распределение сильно ликвирующих элементов (фосфора, серы и углерода) в среднем сечении имеет характер, аналогичный их распределению в сечениях прибыльных частей заготовок. В средней (по длине) части заготовки имеет место более высокая неоднородность распределения элементов даже в пределах данной зоны исследований. Например, по окружности заготовки неоднородность составляет: углерода – в пределах 13,8 % (отн.), фосфора – 35,7 % (отн.), сера – 35,4 % (отн.), кремния – 8,5 % (отн.), марганца – 6,15 % (отн.) Такое значительное проявление ликвации связано, очевидно, с условиями взаимодействия элементов при смещении металлов двух плавок, а также особенностями процессов кристаллизации, «смешанного» жидкого металла.

Неоднородность по длине заготовки носит традиционный характер — содержание элементов увеличивается по направлению от донных к прибыльным частям заготовок. Наибольшее различие в содержании элементов в прибыльной и донной частях обнаруживают алюминий, сера, углерод, фосфор и цирконий. По-видимому, эти особенности в распределении элементов вызваны смешением металла двух плавок, что усугубляет ликвационные процессы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ЧУГУНА

Фесенко А. Н.¹, Фесенко М. А.¹, Косячков В. А.²

(¹ ДГМА, г. Краматорск, Украина; ² НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Основными критериями конкурентоспособности литейной продукции на мировом рынке сегодня являются высокое качество и низкая себестоимость. Это выдвигает на первый план задачу существенного снижения металлоемкости литых изделий при одновременном повышении их физико-механических и служебных характеристик, что возможно достичь за счет применения новых или улучшения структуры и свойств существующих литейных материалов.

Одним из эффективных способов целенаправленного воздействия на структуру и свойства отливок из технических сплавов является модифицирование расплава. Достаточно широкое применение модифицирующая обработка находит при получении качественных отливок из чугуна. При этом в зависимости от химического состава расплава исходного чугуна и требуемой структуры и свойств отливок применяются способы графитизирующего, сфероидизирующего или карбидостабилизирующего модифицирования.

Несмотря на значительное количество предложенных и используемых на практике в литейных цехах способов модифицирования, одним из наиболее эффективных, экономичных и экологических методов является внутриформенная обработка расплава в реакционной камере литниковой системы на пути движения жидкого металла к отливке или так называемый INMOLD-процесс.

Однако, несмотря на целый ряд преимуществ, этот процесс является весьма чувствительным к химическому составу исходного расплава, а также к гидродинамическим и теплофизическим условиям литья и затвердевания отливки, что требует тщательной отработки технологического процесса изготовления конкретной отливки и корректировки техпроцесса при переходе на другой тип отливок.

Целью представленной работы явилось исследование процессов внутриформенного модифицирования расплавов чугунов разного химического состава, обладающих различной склонностью к кристаллизации по стабильной или метастабильной диаграмме состояния «железо-углерод», разными по функциональному назначению модификаторами, лигатурами или другими добавками с использованием реакционных камер литниковой системы разной конструкции.

В результате проведенных методами физического моделирования и на натуральных чугунных отливках исследований выявлены основные закономерности процесса внутриформенного модифицирования в реакционных камерах различного типа и конструкции, установлены наиболее эффективные модифицирующие добавки для графитизирующего, сфероидизирующего и карбидостабилизирующего модифицирования чугуна, определены оптимальные гранулометрические характеристики таких добавок-модификаторов и наиболее рациональные конструкции реакционных камер. Предложены и запатентованы новые способы интенсификации растворения модифицирующих добавок при модифицировании чугуна в литейной форме, в том числе при использовании добавок с размерами зерен, отличными от оптимальных, включая пылевидные фракции. Применение разработанных способов позволяет повысить коэффициент усвоения основных и дополнительных модифицирующих элементов и уменьшить расход добавок.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при производстве качественных чугунных отливок с заданными структурой и свойствами как из исходного чугуна, склонного к кристаллизации по метастабильной диаграмме, так и из чугуна, склонного к кристаллизации с выделением свободного графита в соответствии со стабильной диаграммой состояния «железо-углерод».

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С РАЗНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ИЗ БАЗОВОГО РАСПЛАВА

Фесенко А. Н., Фесенко М. А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Широко известный и используемый на практике способ получения изделий методом литья предусматривает заполнение литейной формы жидким металлом определенного химического состава, последующее затвердевание и охлаждение залитого расплава в полости литейной формы и выбивку сформировавшейся отливки из формы.

Известно множество способов влияния и управления структурой и свойствами отливок. Существенным резервом воздействия на процессы структурообразования и, в конечном итоге – на структуру и свойства отливок является модифицирующая обработка.

В настоящее время разработаны и находят применение в литейных цехах целый ряд способов модифицирования расплава. Одним из наиболее эффективных, и с технической (технологической), и с экономической, и с экологической точек зрения, является способ модифицирующей обработки жидкого металла низкопроцентными, чаще всего, магнийсодержащими присадками или лигатурами в промежуточной реакционной камере литниковой системы при заливке литейной формы (INMOLD-процесс) [1], который имеет целый ряд преимуществ перед другими известными способами модифицирования расплава [2].

При INMOLD-процессе расчетное количество дробленого модификатора загружают в специальную промежуточную реакционную камеру литниковой системы на пути движения жидкого металла к отливке. Во время заливки формы находящийся в реакционной камере модификатор послойно растворяется в потоке жидкого металла, уносится в объем полости формы и усваивается металлом отливки. Не изменяя коренным образом химический состав сплава, такое модифицирование влияет на процесс кристаллизации и приводит к изменению структуры и свойств металла в отливках по сравнению с исходным металлом, который заливают в литейную форму.

Применение для внутриформенной обработки модификатора определенного химического и гранулометрического состава при оптимальных режимах литья позволяет целенаправленно воздействовать на процессы структурообразования и получать отливки, в том числе несколько однотипных или разных типов в общей литейной форме, со структурой и свойствами, отличными от структуры и свойств исходного металла. Однако при этом получить в одной литейной форме однотипные или разные отливки, каждая из которых имеет требуемые, отличные от других отливок, структуру и свойства металла, что является весьма актуальным при единичном изготовлении изделий небольшой массы и размеров, особенно в цехах ремонтного литья, не представляется возможным.

В представленной работе предложен, исследован и запатентован способ изготовления в общей литейной форме из одного базового расплава одинаковых или различных по массе, конфигурации и размерам отливок, каждая из которых имеет заданные (требуемые) структуру и свойства, в том числе отличные от структуры и свойств других отливок, а также от структуры и свойств исходного металла [3].

При этом для реализации технологического процесса используется выплавленный в одном плавильном агрегате исходный (базовый) расплав, который заливается в полость литейной формы через специальную литниковую систему [4] в составе каналов, подводящих расплав к разным отливкам, которой предусмотрены специальные полости для размещения разных

по функциональному назначению модифицирующих или легирующих добавок, благодаря чему расплав, поступающий к разным отливкам, подвергается различной внутриформенной модифицирующей обработке, изменяющей структуру и свойства металла в отдельных отливках.

Получение различных свойств металла в различных отливках достигается за счет того, что жидкий металл, заполняющий одну отливку, может поступать в соответствующую полость литейной формы без какой-либо обработки (исходный), в то время как полости формы других отливок заполняются через каналы литниковой системы, где расплав проходит внутриформенную обработку разными по функциональному назначению для каждой отливки мелкодисперсными зернистыми, гранулированными или брикетированными модификаторами, лигатурами или другими добавками, помещенными в литейной форме в каналах литниковой системы на пути движения жидкого металла.

Различная внутриформенная обработка расплава вследствие легирующего или модифицирующего воздействия добавки или отдельных ее компонентов (химических элементов или веществ) приводит к формированию различной структуры, а, следовательно, к изменению свойств металла, заполняющего разные отливки, благодаря чему достигается отличие свойств металла в различных отливках.

Предложенный способ может применяться для производства мелких и средних отливок, каждая или некоторые из которых имеют структуру и свойства, отличные от других отливок, из любых сплавов с внутриформенной обработкой расплава любыми порошкообразными, зернистыми, гранулированными или брикетированными добавками.

Реализация способа для производства отливок с использованием технологии раздельного графитизирующего, карбидостабилизирующего и сфероидизирующего модифицирования чугуна в литейной форме подтвердила его технические возможности и эффективность.

Используя в качестве базового расплава доэвтектический чугун, склонный к кристаллизации с отбелом в соответствии с метастабильной диаграммой состояния «железо-углерод», и помещая в одну из реакционных камер литниковой системы графитизирующий модификатор в виде ферросилиция ФС75, в другую реакционную камеру – сфероидизирующий модификатор в виде ферросилиций-магниевого сплава ФСМг7, в третью – карбидостабилизирующий сплав в виде феррохрома ФХ200 и используя четвертую ветвь литниковой системы без реакционной камеры, через которую к одной из отливок металл будет поступать без всякой дополнительной обработки, получили четыре отливки соответственно со структурой белого, серого с включениями пластинчатого графита и высокопрочного с шаровидным графитом чугуна, имеющие различную твердость и механические свойства.

В случае применения в качестве базового расплава чугуна эвтектического или близкого к эвтектическому состава, склонного к кристаллизации с графитизацией в соответствии со стабильной диаграммой состояния

«железо-углерод», применяя запатентованную литниковую систему, в составе отдельных ветвей которой предусмотрены реакционные камеры, заполняемые различными модифицирующими добавками, в одной литейной форме также получены отливки со структурой белого, серого с пластинчатым графитом и высокопрочного с шаровидным графитом чугуна, каждая из которых отличается от других по твердости и другим механическим характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

1. McCaulay J. L. *Production of nodulagraphite iron casting by the inmold-process* / McCaulay J. L. // *Foundry trade journal*. – 1971. – № 4. – P. 327–332, 335.

2. Модифицирование чугуна в литейной форме сфероидизирующими присадками / Макаревич А. П., Фесенко М. А., Фесенко А. Н., Косячков В. А. // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. – 2005. – № 2. – С. 101–106.

3. Патент № 27682 U 2007 07330, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з різними структурою і властивостями в загальній ливарній формі з одного базового розплаву / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. – Заявл. 02.07.2007; опубл. 12.07.2007, Бюл. № 18, 2007.

4. Патент №29197 U 200708456, B22D 27/00. Ливникова система для виготовлення виливків з різними структурою і властивостями з одного базового розплаву в загальній ливарній формі / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. – Заявл. 23.07.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 18, 2008.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВНУТРИФОРМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ПОЛУЧЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ОТЛИВОК

Фесенко А. Н.¹, Фесенко М. А.¹, Косячков В. А.²

(¹ ДГМА, г. Краматорск, Украина; ² НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

В современных технологических процессах изготовления высококачественных отливок из чугунов различных типов важнейшей операцией является модифицирующая обработка расплава.

Из разработанных и используемых на практике способов модифицирования чугунов одним из наиболее перспективных и эффективных является метод внутриформенной обработки расплава в реакционной камере литниковой системы литейной формы, или так называемый INMOLD-процесс [1]. В процессе модифицирования происходит растворение модифицирующих добавок и усвоение их составляющих расплавом базового чугуна, что приводит к изменению структуры и свойств модифицированного

металла по сравнению с заливаемым. При внутриформенном модифицировании степень усвоения из добавки основных модифицирующих элементов расплавом базового чугуна и остаточное содержание их в металле, которое во многом определяет структуру и свойства металла в отливке, наряду с химическим составом исходного чугуна, определяется механизмом межфазного взаимодействия частиц модификатора с расплавом в реакционной камере и в полости литейной формы, а также кинетикой растворения модификатора в жидком чугуне.

При использовании технологии раздельного внутриформенного модифицирования базового расплава для изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами [2] структура и свойства металла в отдельных частях и в переходной зоне и, в конечном итоге, качество многослойной отливки, кроме всего прочего, определяется механизмом взаимодействия разнородных модифицированного и немодифицированного, или модифицированных разными по функциональному назначению добавками, чугунов.

Ввиду того, что сложные, взаимосвязанные и взаимообуславливающие друг друга гидродинамические, теплофизические и массообменные процессы, протекающие в литейной форме при заливке, модифицировании, затвердевании и охлаждении отливки практически не поддаются прямым исследованиям, и изучить их непосредственно на металле с визуализацией протекающих процессов и явлений в настоящее время не представляется возможным, а также с целью существенного сокращения расходов на проведение исследований в данной работе использованы методы физического и компьютерного моделирования.

Взаимодействие разных зернистых добавок-модификаторов с жидкими средами, моделирующими расплав чугуна, в реакционной камере литниковой системы и в полости формы и процессы получения двухслойных отливок с дифференцированными свойствами изучались по разработанной нами методике [3] с использованием запатентованных установок – прозрачных моделей [4, 5]. Компьютерное моделирование гидродинамических и теплофизических процессов при изготовлении отливок с дифференцированными структурой и свойствами в отдельных частях проводилось на ПЭВМ с использованием пакета прикладных программ LVMFlow.

В результате проведенных модельных исследований установлены механизмы и выявлены основные закономерности взаимодействия добавок различной зернистости с модельными расплавами при внутриформенной обработке с использованием промежуточных проточных реакционных камер различной конструкции при разном коэффициенте их заполнения модификатором и при различных условиях заливки расплава.

Установлено, что характер взаимодействия модифицирующей добавки с заливаемым расплавом зависит от целого ряда факторов и, в первую очередь, от типа добавки, размера ее частиц (зернистости), температурных и гидродинамических условий заливки. При этом характер

движения и интенсивность потоков жидкости и степень вовлечения твердых частиц модификатора в движение в проточной реакционной камере литниковой системы существенно зависит от конструкции реакционной камеры и подвода к ней и отвода из нее расплава. Интенсифицировать процессы взаимодействия жидкой и твердой фаз и увеличить количество твердых частиц, которые уносятся в объем отливки, позволяет применение центробежной реакционной камеры с подводом расплава в камеру по касательной.

Модельными исследованиями подтверждена практическая невозможность получения двухслойных и двухсторонних отливок из одного базового расплава по предложенной новой технологии при непрерывной заливке литнейной формы без применяемых дополнительных мер как при использовании для заливки двух автономных (независимых) литниковых систем или же общей литниковой системы с разделением потоков расплава на два и подачей его в правую и левую части формы, так и при заливке формы через ярусную литниковую систему с подводом литниковых каналов к отливке на разных уровнях по высоте. Невозможность дифференциации структуры и свойств отливки обусловлена гидродинамическим и теплоконвекционным перемешиванием разных расплавов и диффузионным выравниванием химического состава модифицированного и немодифицированного чугуна.

Для получения отливки с дифференцированными свойствами в разных частях необходимо исключить возможность перемешивания двух потоков расплава, которые поступают через две независимые (автономные) или через разные ярусы одной многоярусной литниковой системы, а это возможно при наличии препятствия или механической перегородки, которая разделит эти разнородные потоки. Для формирования в отливке слоев с разной структурой и свойствами из одного базового расплава поступление модифицированного и немодифицированного расплавов должно осуществляться последовательно с определенной временной выдержкой. Причем качественную двухслойную отливку возможно получить только при обеспечении оптимальной временной выдержки между двумя этапами заливки формы расплавом. По результатам модельных исследований определены оптимальные условия получения двухслойных горизонтальных и вертикальных плит.

Полученные методами физического и компьютерного моделирования и подтвержденные на экспериментальных отливках из чугунов результаты позволяют разработать практические рекомендации по оптимальным технологическим режимам внутриформенного модифицирования расплава и изготовления конкретных двухсторонних и двухслойных отливок с дифференцированными свойствами в отдельных частях из одного базового чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. McCaulay J. L. *Production of nodulagraphite iron casting by the in-mold-process* / McCaulay J. L. // *Foundry trade journal*. — 1971. — № 4. — P. 327–332, 335.

2. Чернега Д. Ф. Нові технологічні варіанти сфероїдизуючого модифікування чавуну в ливарній формі / Чернега Д. Ф., Косячков В. А., Фесенко М. А. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета и Северо-Восточного научного центра Транспортной академии Украины : сборник научных трудов. – Харьков, 2006. – Вып. 33. – С. 9–11.

3. Фесенко М. А. Исследование процессов внутриформенной обработки чугуна методами физического моделирования / Фесенко М. А., Косячков В. А., Фесенко А. Н. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2006. – №3 (5). – С. 7–14.

4. Патент № 20297 U 2006 08282, B22D27/00. Установка для моделирования процесів внутрішньоформової обробки рідкого металу / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. А. – Заявл. 24.07.2006 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007.

5. Патент № 20296 U 2006 08280, B22D27/00. Установка для моделирования процесів одержання біметалевих і багатозарових виливків / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. А. – Заявл. 24.07.2006 ; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Емельяненко Е. В.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Как известно, при традиционных способах изготовления отливок литейные стержни применяют для образования в отливках отверстий и полостей, а иногда – для формирования наружных поверхностей отливок. На долю стержней приходится 20–25 % трудоемкости изготовления отливок, поэтому выбор оптимальной технологии производства стержней является одной из важнейших проблем, определяющих качество и точность литейных заготовок [1].

Целью представленной работы является выявление общих тенденций и направлений развития технологических процессов изготовления литейных стержней и определение наиболее перспективных технологий для внедрения в практику литья на предприятиях Украины.

В работе выполнен подробный анализ существующих технологических процессов изготовления стержней, приведена общая их классификация.

Установлено, что, несмотря на широкое распространение технологических процессов изготовления стержней, требующих тепловой обработки для упрочнения стержня (с тепловой сушкой, в горячих и теплых

ящиках), в конце 70-х – начале 80-х годов прошлого столетия, в связи с постоянным повышением требований к качеству, точности и чистоте поверхности отливок при одновременном снижении себестоимости за рубежом произошли значительные изменения в технологии изготовления стержней как в серийном и массовом, так и в индивидуальном и мелкосерийном производстве отливок. При этом наметился интенсивный переход стержневых производств на новые, современные, более прогрессивные и перспективные техпроцессы изготовления стержней повышенного качества и размерной точности в ненагреваемой оснастке из холоднотвердеющих смесей (ХТС), не требующих тепловой обработки для упрочнения стержня (Cold-box- и No bake-процессы).

При этом в литейных цехах с серийным и крупносерийным характером производства получают распространение процессы изготовления литейных стержней, основанные на отверждении стержневой смеси непосредственно в технологической оснастке продувкой газообразными, паробразными или распыленными жидкими катализаторами или отвердителями, сжатым воздухом или инертным газом (Cold box-процессы). Для изготовления стержней и форм в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве с большой, часто меняющейся номенклатурой, но малой серийностью отливок, применяют современные No bake-процессы, основанные на самозатвердевании смеси в результате взаимодействия компонентов, входящих в ее состав (чаще всего связующего и отвердителя или катализатора твердения).

Приведена детальная классификация таких новых процессов и рассмотрены особенности наиболее перспективных технологий.

Внедрение таких передовых холодных технологий на предприятиях России, Беларуси и других стран СНГ, в том числе на отдельных предприятиях Украины, подтвердило эффективность их применения для изготовления высококачественных песчаных стержней. Однако темпы их внедрения на предприятиях Украины очень низкие, и для обеспечения конкурентоспособности литейной продукции предприятий Украины на мировом рынке требуется коренное переоснащение литейных цехов и участков, в том числе и их стержневого передела. Разработаны предложения для решения проблем изготовления высококачественных стержней и отливок, получаемых с их применением, на предприятиях Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобряков Г. И. *Литейное производство автомобильной отрасли. Часть 3: Техпереворужение стержневых отделений* / Бобряков Г. И. // *Литейное производство*. – 2000. – № 2. – С. 19–21.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ

Фесенко М. А.¹, Косячков В. А.², Фесенко А. Н.¹

¹ ДГМА, г. Краматорск, Украина; ² НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Конкурентоспособность машиностроительной продукции на мировом рынке сегодня определяется, в первую очередь, высоким качеством и низкой себестоимостью. Так как в структуре заготовок для широкой номенклатуры машиностроительной продукции от 30 до 80% по массе составляют заготовки, полученные методом литья, то именно качеством отливок во многом определяется работоспособность, долговечность и надежность работы оборудования, механизмов и машин, а стоимостью литья — стоимость готовых изделий.

Перспективным направлением решения проблемы повышения работоспособности, долговечности и надежности работы оборудования, механизмов и машин, расширения межремонтных сроков эксплуатации непрерывно действующих комплексов при одновременном снижении себестоимости изделий является замена в их конструкции части монометаллических деталей биметаллическими и многослойными отливками с дифференцированными свойствами металла в разных зонах или частях. При производстве деталей с разными, иногда взаимно противоположными физико-механическими и эксплуатационными свойствами в отдельных частях, кроме всего прочего, достигается повышение эффективности использования металла, снижение металлоемкости механизмов, машин и оборудования, экономия дефицитных конструкционных материалов, а также уменьшение расхода дорогостоящих и дефицитных легирующих элементов.

В настоящее время разработан целый ряд способов изготовления биметаллических и многослойных изделий [1], каждый из которых имеет свою наиболее рациональную область применения. Однако существующим способам получения биметаллических и многослойных деталей, в том числе и деталей, изготавливаемых из жидкого металла методом литья, присущи существенные недостатки, что сдерживает широкое применение этих способов на практике на машиностроительных, металлургических и других предприятиях.

В представленной работе разработан, всесторонне исследован с использованием методов физического и математического моделирования, а также на натуральных отливках, и успешно апробирован в производственных условиях новый способ изготовления чугуновых отливок с дифференцированными структурой и свойствами в отдельных частях или зонах из одного (однородного) базового расплава, основанный на применении современной и перспективной технологии внутриформенного модифицирования базового расплава разными по функциональному назначению модификаторами при заливке литейной формы. Разработанный способ позволяет устранить основные недостатки существующих способов получения

биметаллических и многослойных отливок, связанные с необходимостью выплавки и разливки разнородных расплавов разного химического состава.

Идея предложенного нового метода дифференциации структуры и свойств отдельных частей отливки заключается в разделении исходного чугуна доэвтектического состава, склонного к кристаллизации с отбелом, или же чугуна эвтектического состава, склонного к кристаллизации с выделением свободного графита, во время заливки литейной формы на два потока, один из которых направляется непосредственно в полость формы, а второй сначала подвергается графитизирующему, сфероидизирующему или карбидостабилизирующему модифицированию в промежуточной реакционной камере литниковой системы, и потом направляется в другую часть полости формы [2, 3, 4]. Возможно также модифицирование исходного чугуна обоих потоков в двух промежуточных реакционных камерах, входящих в состав каналов отдельных независимых (автономных) литниковых систем или расположенных на разных ветвях одной общей литниковой системы [5].

Априорным моделированием разнообразных конструктивно-технологических вариантов дифференцированного модифицирования чугуна в литейной форме определены четыре основных морфологических признака предложенного нового процесса: химический состав базового чугуна, состав заряда реакционной камеры, тип отливки, конструктивная схема литниковой системы с реакционными камерами. Логическим анализом теоретически возможных вариантов дифференциации структуры и свойств чугуна в отдельных частях отливки с учетом технической и экономической целесообразности определены наиболее перспективные конструктивно-технологические варианты, которые подвергнуты всесторонним исследованиям и лабораторно-промышленной проверке.

При использовании в качестве базового расплава доэвтектического чугуна, склонного к кристаллизации с отбелом, в зависимости от типа используемого модификатора были получены двухсторонние и двухслойные горизонтальные и вертикальные плиты с сочетанием структуры и свойств твердого с карбидами железа белого чугуна в одной части и серого с пластинчатым графитом или высокопрочного с шаровидным графитом чугуна в другой части отливки. Если в качестве исходного при заливке литейной формы применяли расплав чугуна эвтектического состава, склонного к кристаллизации с выделением свободного графита, то, используя предложенные способы и соответствующие карбидостабилизирующие и сфероидизирующие модификаторы, получали отливки с сочетанием слоев: белый чугун – серый чугун с пластинчатым графитом, белый чугун – высокопрочный чугун с шаровидным графитом или серый чугун – высокопрочный чугун с шаровидным графитом. При этом твердость чугуна в литом состоянии в зоне отливок, имеющих структуру белого чугуна, достигала 380–440 НВ, в зонах высокопрочного чугуна с шаровидным графитом – 220–240 НВ, в зонах со структурой серого чугуна с пластинчатым графитом – 180–210 НВ.

В результате проведенных исследований установлены оптимальные технологические режимы литья, модифицирующей обработки и затвердевания, которые обеспечивают получение двухсторонних и двухслойных отливок с заданными дифференцированными структурой и свойствами сплава в их разных частях. Полученные результаты исследований могут быть использованы при изготовлении чугуновых отливок с заданными структурой и свойствами при использовании исходного (базового) чугуна определенного химического состава, в том числе для производства отливок, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа, с наиболее перспективным для условий их эксплуатации сочетанием частей или слоев «белый чугун – высокопрочный чугун с шаровидным графитом».

ЛИТЕРАТУРА

1. Позняк Л. А. Основные направления производства литых биметаллов / Позняк Л. А., Костенко Г. Д., Снежко А. А. // *Литье биметаллических отливок*. – Киев, 1976. – С. 3–15.

2. Патент №27681 U 2007 07328, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими властивостями / Фесенко М. А., Косячков В. О. Фесенко А. М. – Заявл. 02.07.2007 ; опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18, 2007.

3. Патент №32713 U 2008 00725, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного базового розплаву / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. – Заявл. 21.01.2008 ; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10, 2008.

4. Позитивне рішення на видачу патенту U 2008 02428, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного базового розплаву / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. – Заявл. 25.02.2008.

5. Патент №32662 U 2008 00343, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. – Заявл. 10.01.2008 ; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10, 2008.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗЧИНЕННЯ ФХ-0,25 У ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

Хасан О. С., Чайковський О. А., Петухова Г. А.
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

У сучасному машинобудуванні до окремих частин литих деталей машин і механізмів висувають різні, іноді протилежні за функціональним призначенням вимоги щодо механічних і експлуатаційних властивостей. Валки і шoki дробарок, металльні лопатки дробометних і піскометних апаратів повинні мати тверду зносостійку поверхню робочих елементів

і ударостійку серцевину. Високу зносостійкість робочої поверхні таких деталей може забезпечити вибілений чавун із твердими карбідами в структурі, а підвищену пластичність і ударну в'язкість серцевини – високоміцний чавун із кулястим графітом.

У зв'язку з цим є необхідність отримання двошарових виливків, що поєднують у собі різні експлуатаційні властивості: зносостійку робочу поверхню, м'який вібропоглинаючий шар, пластичні і міцні вузли кріплення й т. ін.

Особливу увагу привертає можливість виробництва двошарових виливків шляхом оброблення вихідного чавуну в ливарній формі. Таким чином, не потрібно готувати два розплави, що використовувалося раніше.

Одним зі способів отримання зносостійкої поверхні є введення в розплав хрому, який сприяє стабілізації карбідів заліза.

У даній роботі досліджено можливість розчинення ферохрому в потоці чавуну при його заливанні в ливарну форму.

Чавун (С – 3,8%; Si – 1,8%; Mn – 0,3%; S – 0,03%; P – 0,05%) виплавляли в індукційній печі ICT-006 і заливали в підсушені піщано-глинисті форми. Тривалість заливання складала 12 ± 2 с.

Відомо, що температура плавлення ферохрому становить 1600–1730°C. Отже, при заливанні з $T = 1500 \pm 10$ °C можливе лише його розчинення. У свою чергу, розчинність ферохрому залежить від режиму заповнення форми. У зв'язку з цим з'являється необхідність у дослідженні і режиму заповнення форми.

У ливниковій системі ливарної форми виконувалася спеціальна поужина, реакційна камера (РК) для розміщення стабілізувальної присадки ФХ 0,25(Сг 65–75%) фракції 2–4 мм.

Кінетику процесу розчинення ферохрому в ливарній формі досліджували в залежності від величини площі вихідного каналу РК, частки вільного простору реакційної камери, площі вхідного каналу РК та температури заливання чавуну.

Ефективність розчинення ферохрому оцінювали за кількістю, що розчинилася в потоці чавуну при заливанні в ливарну форму.

У результаті проведених експериментів були встановлені такі залежності:

- зі збільшенням масової швидкості заливання від 0,3 до 0,4 кг/с розчинність ферохрому зменшується.
- зі збільшенням частки вільного простору РК від 16% до 64% розчинність ферохрому зменшується.

Оптимальна частка вільного простору реакційної камери складає 16 %, при цьому розчинення ферохрому складає 80%.

Визначено величину фактору розчинності сплаву (ФРС), який повинен знаходитися в межах 0,010–0,012 для забезпечення рівномірного і повного розчинення ферохрому потоком чавуну.

ОСОБЕННОСТИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА В КОМБИНИРОВАННЫХ КОКИЛЬНО-ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ

Хрычиков В. Е., Меньяло Е. В.
(НМетАУ, г. Днепрпетровск, Украина)

Сифонный способ заливки крупных отливок ухудшает условия питания усадки из прибыли. Например, чугунные прокатные валки, масса которых от сотен килограммов до 50 тонн, имеют склонность к образованию усадочных дефектов. Увеличение высоты прибыли не обеспечивает устранение усадочных дефектов, как и увеличение диаметра прибыли по сравнению с диаметром верхней шейки, что приводит к браку по трещинам и отрыву шеек в результате усадки. Поэтому исследование причин образования усадочных дефектов в крупных отливках, разработка и совершенствование методов их предупреждения являются важными и необходимыми направлениями работы по повышению качества литья и снижению себестоимости производства.

Исследования процессов затвердевания проводили с помощью термомпар, установленных в прокатном валке из высокопрочного чугуна. По экспериментальным кривым охлаждения строили кинетическую диаграмму затвердевания и изотермы.

Экспериментальные кривые охлаждения осевой зоны прокатного валка показали ускоренное затвердевание бочки диаметром 450 мм по сравнению с нижней шейкой диаметром 327–273 мм. Бочка валка, охлаждающаяся в чугунном кокиле, переходит в твердо-жидкое состояние через 72–79 мин. Окончательное затвердевание бочки происходит практически одновременно по всей ее высоте через 85–90 мин. Нижняя шейка, которая охлаждается в песчано-глинистой форме, затвердевает на 138–139 мин. Таким образом, нарушение питания усадки из прибыли обуславливает образование теплового узла и усадочных дефектов в нижней шейке.

Питание прибыли валка осуществляли доливкой чугуна сквозь утеплительный слой древесного угля толщиной 80–100 мм через 12 и 35 мин, что привело к кратковременному повышению температуры в верхней части прибыли. Общая глубина проникновения доливаемого металла составила 380–390 мм. Несмотря на утепление в прибыли и верхней шейке валка, формируется два тепловых узла. Между тепловыми узлами образуется «мост», в котором уже на 101 минуте расплав переходит в твердо-жидкое состояние, что нарушает питание усадки верхней шейки из прибыли. После механической обработки и удаления прибыли на торце верхней шейки валка усадочные дефекты отсутствуют. Это обусловлено тем, что торец тrefа верхней шейки приходится на плотную структуру «моста», а усадочные дефекты сосредоточены выше него (в прибыли) и ниже (в верхней шейке).

Исследование влияния экзотермических смесей, теплоизолирующих составов и электрообогрева верхней части прибыли показало, что

для отливок массой более 1 т целесообразно применение комбинированного электродугового-электрошлакового обогрева (ЭДЭШО). Анализ экспериментальных кривых охлаждения выявил значительное повышение температуры только в верхней части прибыли. Подобранные составы шлаков обеспечили образование металлической ванны глубиной ~120 мм, из которой жидкий металл питал усадку отливки. Установлено влияние электрошлакового обогрева прибылей прокатных валков из высокопрочного чугуна на глубину зоны демодифицирования шаровидного графита и изменение физико-механических свойств металла по высоте отливки.

Экономическая эффективность внедрения технологии ЭДЭШО возрастает с увеличением стоимости энергоресурсов. Это обусловлено тем, что электрообогрев компенсирует только потери тепла расплава из прибыли в окружающую среду. При питании усадки отливки за счет доливаемого металла необходимо тратить энергию на подогрев, расплавление и перегрев металла.

НОВЫЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ ЛИТЫЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ СПЛАВЫ, САМОУПРОЧНЯЮЩИЕСЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Чейлях А. П., Шейченко Г. В., Олейник И. М.
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)

Проблемы экономии остродефицитных и дорогих легирующих компонентов (никеля, молибдена, ванадия, ниобия и др.), повышения качества при создании новых сплавов с повышенными свойствами, замены дефицитных сложнoleгированных материалов остаются весьма актуальными для Украины и многих стран.

Весьма перспективным направлением в их разрешении является использование деформационной фазово-структурной метастабильности при создании новых наукоемких метастабильных сплавов различного функционального назначения и упрочняющих технологий. Важнейшим преимуществом таких сплавов является эффект самоупрочнения в условиях эксплуатации за счет протекания деформационных и термометаморфических фазовых превращений (ДФП, ТДФП-мартенситных (ДМП), выделения карбидов и карбонитридов и пр.), обеспечивающих самоорганизацию структуры сплавов и лучшую их адаптацию к условиям эксплуатации. При оптимальной кинетике этих превращений происходит автоматическое (прогнозируемое) повышение непосредственно в процессе эксплуатации комплекса механических и эксплуатационных свойств: прочности, твердости поверхностного слоя, пластичности, ударной вязкости, износостойкости, запаса надежности и долговечности таких сплавов

и изготовленных из них деталей. Рациональное использование этого эффекта позволяет отказаться от легирования дефицитными компонентами в пользу экономного легирования.

Целью работы является развитие научных положений создания и практических рекомендаций по использованию разнофункциональных метастабильных сплавов нового поколения и способов управления их свойствами.

Проектирование новых наукоемких метастабильных сплавов должно осуществляться с использованием сформулированных научно-обоснованных положений и принципов:

- создание фазово-структурной метастабильности рациональным легированием, способами термической, химико-термической, термомодеформационной, термоциклической и др. видов обработок, а также на стадии эксплуатации (например, если условия работы детали связаны с разогревом детали или ее поверхности, либо другими физическими воздействиями);

- целенаправленное использование ДФП, ТДФП, ДМП, развивающихся по оптимальной кинетике, определяемой из напряженно-деформационных, температурно-временных и др. условий эксплуатации, особенностей легирования, металлургической природы сплава и т. д.;

- взаимосвязи и взаимозависимости кинетики этих превращений с кинетикой формирования физико-механических и эксплуатационных свойств;

- повышение энергоемкости сплава (способности поглощать механическую и тепловую энергию внешнего воздействия эксплуатационной среды) за счет реализации ДФП и ТДФП и обусловленных ими положительных изменений в микроструктуре, инициирования и облегчения реализации различных механизмов упрочнения, пластической деформации, релаксации напряжений и др.;

- самоорганизация микро- и наноструктуры и синергизм сплавов в процессе эксплуатации;

- экономное легирование и взаимозаменяемость дефицитных и доступных легирующих компонентов;

- поливариантность химического состава и концентрационных соотношений легирующих компонентов для обеспечения заданного фазового состава и степени метастабильности аустенита;

- гетерогенизация аустенита, предшествующая мартенситным превращениям при охлаждении и нагружении;

Эти положения были использованы нами при разработке новых экономнолегированных литых метастабильных коррозионно-стойких, высокопрочных, жаростойких сталей и сплавов, износостойких чугунов, проектировании новых упрочняющих технологий обработки как вновь создаваемых, так и широко применяющихся в промышленности стандартных

сталей и чугунов, термически и химико-термически упрочненных метастабильных слоев (в т. ч. с использованием плазменной струи, лазерного и электронного лучей), наплавленного металла.

Разработанные коррозионно-стойкие стали на железохромомарганцевой основе (17X16Г12ДСТЛ, 09X17Г10СТЛ, 10X19Г9НДСЛ и др.) аустенитно-ферритного класса с метастабильной γ -фазой обладают повышенным комплексом механических свойств ($\sigma_n = 900-1240$ МПа, $\sigma_T = 470-600$ МПа, $\delta = 28-46$ %, $\psi = 20-67$ %, $KCV = 2,5-3,75$ МДж/м²), превышающим характеристики хромоникелевых сталей. В ряде агрессивных сред (растворах аммиака и моноэтаноламина, концентрированной азотной кислоте, морской воде и др.) они характеризуются как весьма стойкие и способны заменить дорогостоящие стали 10X18Н9Л, 12X18Н10ТЛ, 08X22Н6Т при производстве деталей насосов и запорной арматуры.

Разработанные жаростойкие хромомарганцевые стали (35-90) X23Г3С2ТЛ, 65X20Г3АЮТЛ ферритно-аустенитно-карбидного класса имеют повышенный комплекс физико-механических свойств при сопоставимой жаростойкости при температурах ≤ 1050 °С (1,3679 г/м²ч) и в 2,5 раза более высокую абразивную износостойкость в сравнении со сталью 35X23Н7СЛ. Они предназначены для замены дорогостоящих хромоникелевых сталей 35X23Н7СЛ, 75X28Н2СЛ и др. при производстве крепежной арматуры термических печей, колосников спекательных тележек агломерационных машин и др. деталей.

Разработанные износостойкие чугуны на Fe-Cr-Mn-C и Fe-Mn-C основах с метастабильным аустенитом (ЧХ15Г5Т, ЧХ12Г4Д2, ЧХ19Г3Д, ЧГ8ЮФ, ЧГ9Х4ЮФ и др.) имеют повышенный уровень ударно-абразивной и абразивной износостойкости в сравнении с известными дефицитно-легированными аналогами за счет реализации ДФП и ТДФП в поверхностном слое в процессе изнашивания. Они предназначены для замены дефицитных сложнолегированных чугунов ЧХ15Г2НМФТ (КЛИЧ), ЧХ16М2, ЧХ16НМФТ и др. при изготовлении быстроизнашивающихся деталей различного оборудования (защитные плиты, лопасти дробетомов, ковши пескометов, сопла дробеструйных аппаратов, фильеры и пр.).

Таким образом, созданные разнофункциональные сплавы обладают повышенным комплексом свойств и значительно дешевле (на 350-500 долл./т) применяющихся дефицитно легированных дорогих сплавов. По совокупности физико-механических, эксплуатационных свойств и значительно меньшей стоимости они превосходят хромоникелевые стали и чугуны, являются перспективными альтернативными экономичными материалами для эффективной их замены. Разработанные положения и практические рекомендации необходимо использовать при проектировании новых экономичных метастабильных сплавов различного функционального назначения и упрочняющих технологий термической, термодеформационной, химико-термической, термоциклической обработок, наплавки, плазменной, лазерной, электронно-лучевой обработок, разработке метастабильных порошковых материалов.

ЛИТЬЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Черныш С. В., Кочешков А. С.
(НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Возможность соединения различных металлических сплавов в одном изделии была известна человечеству несколько тысячелетий назад; раскопки древних поселений дают нам удивительные примеры древнего литейного искусства.

Сегодня технология получения биметаллических ювелирных изделий – прогрессивно развивающийся вид литья.

Благодаря технологии биметаллического литья в изделии соединяются одновременно несколько деталей за одну заливку формы расплавленными сплавами, получается комбинированное изделие, состоящее из двух и более сплавов. С помощью такой технологии можно изготавливать изделия, состоящие из разных сплавов не только исключив операции пайки, но и делать изделия, которые обыкновенной сборкой сделать практически невозможно.

Из физико-химических представлений следует, что процесс возникновения связи между частями биметаллической отливки состоит из нескольких связанных между собой стадий:

- смачивания поверхности твердого металла расплавом;
- растворение и взаимная диффузия на границе раздела твердого металла и расплава;
- затвердевание расплава.

Для возникновения надежного сцепления между частями биметаллической отливки необходимо, прежде всего, чтобы атомы расплавленного металла вступили в непосредственный контакт с поверхностными атомами твердого металла, т. е. чтобы произошло смачивание.

В непосредственной связи со смачиванием находится растекание металлического расплава по поверхности твердого металла: чем лучше расплав смачивает твердую поверхность, тем лучше он растекается по ней. Если растекание происходит при температуре ниже точки начала кристаллизации, то растекание сильно зависит от жидкотекучести сплава. Наиболее сильно влияние жидкотекучести проявляется у расплавов, кристаллизующихся в широком интервале температур. Заметное влияние оказывает также наличие на поверхности вставки прочной оксидной пленки.

Связи между двумя металлами в биметаллической отливке по своей природе весьма сходны с межкристаллическими связями в многофазных сплавах. Поэтому прочность сцепления в обоих случаях должна подчиняться одним и тем же закономерностям.

Использование в ювелирном производстве литья биметаллических отливок позволяет решить множество конструктивных и технологических проблем:

- увеличить прочность отдельных частей отливки;

- получить отливки со сложными внутренними полостями без применения стержней;
- соединить несколько деталей в единый узел без сборки;
- облегчить последующую механическую обработку изделия путем заливки предварительно обработанных вставок;
- уменьшить трудоемкость изготовления изделий за счет исключения операций приготовления приюев и операций сборки изделия посредством пайки либо сварки.

Многочисленные и бесспорные преимущества, которыми обладают биметаллические отливки, дают возможность ожидать дальнейшего широкого развития производства ювелирных изделий.

АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В ТЕРМООБДИРОЧНОМ ЦЕХЕ ОАО «ЭНЕРГОМАШСПЕЦСТАЛЬ»

Чернышова Н. В., Грибкова С. Н., Харитоновна В. О.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

ОАО «Энергомашспецсталь» (г. Краматорск) модернизирует и восстанавливает мощности, стабильно наращивает объемы производства продукции высокого качества, соответствующей мировым стандартам при высокой производительности труда. Специализируется на выпуске стальных специальных литых и кованных изделий индивидуального и мелкосерийного производства для тяжелого энергетического и транспортного машиностроения, металлургической, цементной, горнодобывающей и других отраслей промышленности Украины, ближнего и дальнего зарубежья. Предпочтение отдается выпуску изделий с окончательной механической обработкой.

Основным критерием, характеризующим эффективность использования трудового потенциала ОАО «Энергомашспецсталь», является производительность труда. Большое значение для предприятия имеет анализ производительности труда в термообдирочном цехе, предназначенном для термической и механической обработки крупных поковок и стального литья, исправления дефектов литья.

Для оценки уровня производительности труда в термообдирочном цехе за 2005–2006 годы применялась система обобщающих, частных и вспомогательных показателей. На рабочем месте, в цехе производительность труда определяли количеством продукции, которую производит рабочий за единицу времени (выработка). При этом в качестве основных факторов, влияющих на производительность труда (выработку), были взяты:

- (фонд) рабочего времени, ч.;
- часовая выработка продукции (интенсивность труда);
- число отработанных человеко-дней и человеко-часов.

Результаты анализа производительности труда за 2005–2006 годы показали, что при увеличении объема товарной продукции более чем в 1,6 раза, численности персонала цеха – в 1,2 раза среднегодовая выработка увеличилась в 1,37 раза. Кроме того, установлено, что по сравнению с 2005 годом среднечасовая выработка 2006 года на 9,81 грн больше, что положительно характеризует эффективность использования трудовых ресурсов.

Руководство предприятия и термообдирочного цеха идет по пути дальнейшего увеличения выработки за счет значительного увеличения объемов производства. Определены следующие наиболее эффективные направления работ по повышению производительности труда.

Во-первых, для снижения потерь рабочего времени по вине ремонтных служб (5,4 %) вводятся в штатное расписание высококвалифицированные ремонтные рабочие.

Во-вторых, для повышения качества термообработки и увеличения мощности термического участка производится реконструкция термических печей с использованием автоматизации процесса термообработки.

В-третьих, организован участок сварки по исправлению дефектов отливок.

В-четвертых, для обработки увеличившегося объема литья проводятся капитальные ремонты и модернизация токарно-карусельных станков и внедряется технология электроконтактной обработки.

В результате реализации предложенных мероприятий дополнительно будет создано более 30 рабочих мест, при этом увеличение выпуска продукции составит 15 927,5 тыс. грн, производительность труда увеличится на 63,4 %, а среднегодовая выработка составит 98,226 тыс. грн/чел.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ЛИТЬЕМ

Чигарев В. В.¹, Касова Е. В.²

(¹ ПГТУ, г. Мариуполь, Украина; ² ДГМА, г. Краматорск, Украина)

Высокие темпы развития производства, необходимость минимизации энергозатрат и увеличения срока службы изделий, а также повышения производительности процессов восстановления выпускаемых изделий предусматривают внедрение наукоемких технологий и новых решений и совершенствование существующих технологических способов. В частности, этот вопрос особенно актуален в области восстановления и увеличения срока службы мелиоративной, землеобрабатывающей и дорожно-строительной техники, элементы которой подвержены преждевременному выходу из строя вследствие работы в условиях интенсивного абразивного износа под действием частиц обрабатываемого материала, твердость которых зачастую превышает твердость материала деталей.

Так, данные статистики показывают, что средняя площадь обрабатываемой поверхности лемехом плуга, изготовляемого из специальной лемешной стали, составляет 20–30 га, а за сезон на один плуг расходуется 4–5 комплектов лемехов, что значительно повышает стоимость работы мелiorативной техники, приводит к простоям машин на время ремонта или замены деталей и понижает производительность работы техники, не давая возможности использовать полный ее потенциал. Поэтому метод электроконтактного восстановления изношенной поверхности композиционными покрытиями, в частности электроконтактное плакирование порошковыми лентами, является одним из наиболее актуальных и перспективных в условиях современного производства. Однако применение указанного способа восстановления осложняется рядом причин, одной из которых является неравномерный характер износа на поверхности детали, что затрудняет процесс приварки износостойкого слоя, характеризующийся высокоскоростным нагревом присадочного материала и зоны контакта изделия с поверхностью износостойкого слоя при протекании импульса электрического тока и под действием давления на ролике-электроде. Влияние неравномерности шероховатости поверхности объясняется тем, что через контактирующие с оболочкой присадочного материала наиболее высокие выступы необработанной поверхности протекает практически весь сварочный ток, так как в этих точках наблюдается наиболее низкое контактное сопротивление. При приложении сварочного давления указанные выступы деформируются в зоне контакта, создавая наибольшие площади контакта и обеспечивая большую протяженность контакта, чем выступы малой высоты. В указанных точках происходит перегрев присадочного материала и выплеск порошкообразного сердечника, тогда как в других участках наблюдается отсутствие сцепления оболочки ленты с поверхностью изделия.

Одним из путей решения данной проблемы является предварительная обработка поверхности восстанавливаемого изделия воздушно-дуговой строжкой, что позволяет при оптимизированных параметрах процесса получить на поверхности реза шероховатость с заданной высотой и частотой выступов. При использовании в процессе электроконтактного плакирования указанным способом обработанной поверхности изделия наблюдается деформация выступов под действием тепла, выделяемого при протекании импульса электрического тока, в результате чего в деформированных участках происходят процессы адгезии в зоне контакта «восстанавливаемая поверхность – оболочка присадочного материала». Кроме того, под действием усилия на ролике-электроде сварочной машины происходит частичное внедрение выступов обработанной воздушно-дуговой строжкой поверхности восстанавливаемого изделия в оболочку порошковой ленты, что значительно повышает прочность сцепления износостойкого слоя с поверхностью детали и сводит к минимуму возможность откола упрочняющего слоя в процессе эксплуатации, повышает надежность, работоспособность и срок службы изделий.

Таким образом, применения воздушно-дуговой строжки позволяет снизить затраты на специальные способы подготовки поверхности под восстановление (в частности, на механические способы нанесения рельефа, что значительно удорожает технологический процесс) и в сочетании с методом электроконтактного плакирования удешевляет процесс эксплуатации и ремонта техники, работающей в условиях интенсивного абразивного износа.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ВЧ 400-15 В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ

Шейко А. А., Зеленый Б. Г., Бубликов В. Б.,
(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Среди высокопластичных высокопрочных чугунов (ДСТУ 3925-99) больше всего проблем возникает при производстве отливок из чугуна марки ВЧ 400-15 в литом состоянии. Это происходит потому, что данный чугун должен обладать одновременно прочностью $\sigma_b \geq 400$ МПа и высоким относительным удлинением $\delta \geq 15$ %. При современном уровне технологий в литейном производстве эту марку чугуна можно получить в литом состоянии или после термической обработки (отжига) перлитно-ферритного или феррито-перлитного высокопрочного чугуна. В стандартах ряда зарубежных стран для обеспечения высокой пластичности аналогичных марок ВЧ содержание марганца ограничивается – менее 0,2 %, фосфора – менее 0,05 %.

Регламентированную структуру и свойства чугуна ВЧ 400-15 в литом состоянии можно получить при соблюдении оптимального технологического процесса, включающего использование высококондиционной металлической шихты, термовременную обработку расплава в электропечи, применение эффективных способов позднего модифицирования и инокулирования расплава, использование литейных форм, обеспечивающих получение плотных отливок при оптимальном химсоставе чугуна. Все это позволяет получить высокие свойства в отливках: $\sigma_b = 420-450$ МПа, $\sigma_{0,2} = 280-360$ МПа, $\delta = 15-20$ %, $КС = 80-120$ Дж/см².

Механические свойства чугуна ВЧ 400-15 зависят также от масштабного фактора, поскольку литейные процессы при кристаллизации чугуна являются причиной снижения его свойств. При толщине стенки отливки 55 мм – $\sigma_b \geq 440$ МПа, а $\delta \geq 15$ %, при толщине 140 мм эти показатели снижаются до 340 МПа и 14 %, а при 200 мм – до 320 и 10% соответственно.

Разработана технология, при которой в тонкостенных отливках при степени эвтектичности чугуна 1,06–1,20 в структуре содержится менее 20 % перлита, что обеспечивает его регламентированную пластичность

при формі графітних включень ШГф⁴, ШГф⁵ (ГОСТ 3443-87). Якщо ступінь евтектичності підвищується за рахунок вуглецю, а не кремнію, то це супроводжується підвищенням щільності стливок. При більшій високій ступені евтектичності ($\geq 1,30$) в структурі чугуна часто спостерігаються місцеві скоплення включень шаровидного графіта, що негативно впливає на його пластичність.

Виробництво отливок із чугуна ВЧ 400-15 без термообробки дозволяє економити до 400 кВт/год енергії на гонні отливок, а при застосуванні внутріформного модифікування економиться до 30 % модифікатора.

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ НАПОВНЮВАЧА НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ

Шейко О. І., Клименко В. А., Прядко О. С.
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Відомо, що чим дрібніші зерна наповнювача, який використовується для приготування формувальної суміші, тим більш рівномірно вони покриті прошарком в'язучого, тим краще суміш заповнює дрібні деталі поверхні моделі, а куста форма піску сприяє підвищенню її міцності. У той же час, газопроникність формувальної суміші залежить від форми та величини зерен наповнювача, його однорідності, кількості в'язучого та вологості. Формувальна суміш, в якій використовується наповнювач з округлими зернами має вищу газопроникність, ніж із кустастими зернами. Дрібні зерна наповнювача, що розташовуються між крупними, також знижують газопроникність, утворюючи дрібні звивисті канали, що утруднюють фільтрацію газів. Підвищення міцності формувальної суміші найчастіше призводить до зниження її газопроникності. Крім того, розмір зерен наповнювача в значній мірі впливає на теплофізичні властивості формувальних і стрижневих сумішей.

Проведений аналіз складів формувальних та стрижневих сумішей, які широко використовуються в ливарному виробництві, показав, що грубі піски (фракції 063) майже не використовуються, тому що вони утворюють шорстку поверхню виливків; дуже великі та великі піски (фракції 04 та 0315) використовуються при виготовленні чавунних та сталевих виливків масою понад 1000 кг; для дрібного та середнього литва рекомендується використовувати пісок фракції 02, а дрібний та дуже дрібний (фракції 016 та 01) застосовується для виготовлення тонкостінних чавунних та сталевих виливків, а також виливків із кольорових сплавів

Виходячи з багатфакторності впливу зернової структури наповнювача формувальних і стрижневих сумішей на їх технологічні властивості та якість виливків, досить важко підібрати наповнювач із оптимальним зерновим складом. У більшості випадків це потребує введення додаткових технологічних операцій, збільшення витрати в'язучого та ін., що приводить до ускладнення та здороження всього технологічного процесу виготовлення виливків.

На сьогодні гранулометричний склад наповнювача формувальних та стрижневих сумішей оцінюють величиною середнього розміру зерен та коефіцієнтом однорідності. Однак ці параметри не дають повного уявлення про співвідношення зерен різного розміру в загальному об'ємі наповнювача формувальної суміші. Проведеними дослідженнями встановлено, що саме оптимальне співвідношення різних зернових фракцій наповнювача для даного виду в'язучого, яке використовується для приготування суміші, дозволяє максимально підвищити всі технологічні властивості формувальних і стрижневих сумішей.

З метою оптимізації технологічних властивостей формувальних і стрижневих сумішей розроблено математичну модель, яка дозволяє розрахувати оптимальний гранулометричний склад наповнювача в залежності від типу та маси виливка. Проведені дослідження дозволили розробити та рекомендувати для використання формувальні та стрижневі суміші з оптимальним гранулометричним складом наповнювача, які забезпечують виготовлення якісних виливків із різних сплавів.

СУЧАСНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПРИГАРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПІЩАНИХ ФОРМ І СТРИЖНІВ

Шейко О. І., Дробязко В. М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

Найбільш розповсюдженим дефектом поверхні сталевих і чавунних виливків, які виготовляються в разових піщаних формах, є пригар. Пригар значно підвищує трудомісткість очисних операцій та погіршує товарний вигляд литва. Дуже часто утворення пригару на поверхні виливків пояснюють використанням неякісних формувальних матеріалів та порушенням технології виготовлення ливарних піщаних форм.

Орієнтуватися на отримання чистої поверхні литих заготовок шляхом удосконалення методів їх очистки не є раціональним, тому що цей шлях трудомісткий та енергоємний, а також приводить до незворотних втрат металу в пригарі. Тому зрозумілим є прагнення виробників отримати

виливок без пригару та інших поверхневих дефектів безпосередньо в піщаній ливарній формі з розмірами, максимально наближеними до готової деталі розмірами

На сьогодні основним способом запобігання утворенню пригару та інших поверхневих дефектів на сталевих та чавунних виливках є нанесення на поверхню форм і стрижнів протипригарних фарб (водних та самовисихаючих).

Слід відзначити, що запобігання утворенню пригару при виготовленні форм і стрижнів із ХТС є актуальною проблемою ливарного виробництва. Використання водних протипригарних фарб у цьому випадку не є виправданим, тому що цикл їх висушування та зміцнення тривалий, потребує витрати енергоносіїв, що зводить нанівець переваги цієї прогресивної технології виготовлення виливків. Самовисихаючі протипригарні фарби з полівінілбутиралем (ПВБ), які знайшли широке розповсюдження в ливарному виробництві, внаслідок низької (до 220 °С) термостійкості в'язучого при контакті з рідким металом втрачають свою міцність і не спроможні захистити поверхню виливків від пригару. Тому підвищення термостійкості самовисихаючих протипригарних покриттів залишається важливою проблемою.

Найбільш простим та доступним способом підвищення міцності самовисихаючих протипригарних покриттів при нагріванні є використання високо термостійких в'язучих, які розчиняються в органічних розчинниках, наприклад фенолоформальдегідних, фуранових та кремнійорганічних смол. Дослідженнями встановлено, що при додатковому введенні до складу самовисихаючих покриттів із ПВБ фенолоформальдегідних смол у кількості до 2,0 мас. ч. призводить до значного підвищення їх міцності при високих температурах. При використанні таких протипригарних покриттів забезпечується запобігання утворенню пригару при виготовленні сталевих виливків із товщиною стінок до 80–100 мм.

Дослідженнями, проведеними авторами, встановлено, що при введенні до складу самовисихаючих протипригарних покриттів спеціальних домішок (фосфатів, фторидів, хлоридів та ін.) можна значно підвищити їх міцність при високих температурах (до 1200 °С). Додатково введені домішки забезпечують протікання процесів спікання (твердофазного або з участю рідкої фази) шару протипригарного покриття під дією теплоти сплаву, який заливається в порожнину ливарної форми, і його зміцнення.

Висока міцність шару протипригарного покриття при температурах заливання не є достатньою умовою його ефективності. Дуже важливо забезпечити хоча б мінімальну міцність зчеплення покриття з поверхнею форми або стрижня при контакті рідкого металу. Якщо міцність зчеплення буде недостатньою, відбувається відшаровування покриття під дією тиску газів, які виділяються з формувальної суміші, що призводить до утворення

пригару. Тому для підвищення міцності зчеплення покриттів із формою необхідно підвищувати її поверхневу міцність, наприклад, обробкою спеціальними зміцнюючими розчинами.

На основі проведених досліджень розроблено та запропоновано оптимальні склади високоефективних протипригарних покриттів, способів підвищення поверхневої міцності піщаних ливарних форм та технології їх використання на виробництві.

ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ ПОЗВОЛЯЕТ ВЫНЕСТИ ПЕСКОБОРОТ ЗА ТЕРРИТОРИЮ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

Шинский О. И., Бердыев К. Х., Дорошенко В. С.
(ФТИМС НАН Украины, г. Киев, Украина)

Интеграция отечественной экономики в мировое экономическое пространство, о чем свидетельствует вступление Украины в ВТО, стимулирует развитие конкурентоспособных технологий в нашей стране. Среди некапиталоемких гибких, повышающих культуру производства технологий, литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) показывает опережающую динамику и географию распространения в литейном производстве стран мира. Институт ФТИМС НАН Украины (отдел ФХПФ), десятки лет совершенствуя эту технологию как научно-техническую «фирменную» специализацию, поставляет для литейных цехов типовые комплексы оборудования производительностью 150–5000 т отливок в год, проектируя участки под площади заказчика.

Расчеты показывают, что созданные институтом такие комплексы оборудования для ЛГМ только на заводах Минпромполитики Украины позволят при монтаже их на реконструируемых литейных предприятиях создать производственные мощности с суммарным выпуском литья свыше 150 тыс. т/год, в частности, отливок для авто-тракторной техники, техники для АПК, нефтегазовой промышленности, арматуро- и насосостроения, военной техники.

ЛГМ можно отнести к высоким технологиям литейного производства. Эта технология, вопреки стереотипам, которые сложились еще со студенческих лет, свидетельствует, что высокие технологии – это не обязательно сложные малодоступные процессы. Примером может служить цикл оборудования пескооборота, применяемый при ЛГМ. Если в вузах на протяжении нескольких лет изучают для традиционных технологий десятки литейных связующих, множество составов формовочных и стержневых смесей, способов их уплотнения с соответствующим формовочным оборудованием и оснасткой, планировки цехов, где смесеприготовление занимает до четверти

(с регенерацией – до трети) площади цеха, а выбивное оборудование часто напоминает чудо техники при том, что существенной проблемой литейного производства является утилизация твердых отходов, из которых 90 % составляют отработанные формовочные и стержневые смеси (1,5–2,0 т/т литья), относящиеся к 4-й категории опасности, то не удивительно, что может быть не понятно, как без этого можно получать отливки.

Оборотное охлаждение песка при ЛГМ ведут в пневмопотоке или с применением простейших конвейеров, эти металлоконструкции для экономии помещений часто монтируют с внешней стороны стены цеха, где сухой песок в силосе сохраняется, «не боясь» мороза. Такая линия производительностью 50 т отливок в месяц установлена в литейном цехе ФТИМС. Сама линия располагается за пределами цеха. На формовочном участке в цехе с линией связаны две единицы оборудования: вибростол для формовки с трубопроводом засыпки песка в форму и приемное устройство с решеткой для высыпки из контейнерных опок отработанного песка. Расход на 1 тонну годного литья состоит из четырех модельно-формовочных материалов: кварцевый песок – 50 кг, противопригарные покрытия – 25 кг, пенополистирол – 6 кг и пленка полиэтиленовая – 10 кв. м, не применяется для песка связующее.

Совершенствуя оборудование, особенно для механизированных линий, и «обкатывая» его в цехе института, за последние 1,5 года разработана КД и изготовлено (или в стадии изготовления) следующее оборудование: осушитель подвспененного пенополистирола в бункере вылеживания, эжекторный транспортер пенополистирола для питания пресс-автоматов, регенератор песка без псевдооживления, осушитель газов от водокольцевого насоса, установка каталитического дожигания газов без контакта с пламенем горелки, поворотный стол 1200 x 1200 с механической загрузкой-выгрузкой, приводной секционный рольганг 1200 x 4000, водяной осадитель пыли для предохранения водокольцевых насосов от абразивного износа, силос с осадителем пыли/песка для пневмотранспорта всасывающего типа, объемный дозатор 0,5 куб. м песка для засыпки в контейнерные опоки, вибростолы 600 x 900 с подъемником (h = 25 мм) для линий формовки и 1200 x 1200 с виброколебаниями в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

ЛГМ относится к отечественным технологиям, которые позволяют шире использовать то наше преимущество, что Украина относится к немногочисленным странам с замкнутым металлургическим циклом производства металлов из собственных руд и может успешно конкурировать в сфере производства наукоемкой металлопродукции.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ СЕПАРАЦИИ СМЕСЕЙ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

Шишкин А. А.

(ВНУ им В. Даля, г. Луганск, Украина)

В известной литературе при анализе систем сепарации смесей литейных цехов и переработки шлаков и отходов металлургических производств обычно используется описательный подход, не позволяющий производить анализ существующих систем и, тем более, синтез новых.

Отсутствие методологии и математического аппарата синтеза систем, а также несоответствие характеристик существующих устройств сепарации требованиям технологии приводит к большим потерям металла. В то же время, рационально размещая в системе переработки известные устройства сепарации (шквивные и подвесные железоотделители) и применяя ряд дополнительных устройств, качество сепарации можно существенно улучшить.

Для решения этой проблемы разработана теория систем сепарации, позволяющая на стадии проектирования проводить их исследование и оптимизацию. Предложен математический аппарат, в основу которого положены исследования типовых устройств сепарации.

При разработке теории в рассмотрение введены две функции, имеющие статистический характер. Первая характеризует извлекающую способность устройства сепарации в зависимости от массы включений $R(m)$, вторая – передаточная функция $F(m)$ – системные свойства устройства. Это позволило рассматривать различные способы объединения устройств сепарации, входящих в систему регенерации – последовательное, параллельное и циклическое.

Анализ существующих систем регенерации смесей литейных цехов позволил установить типовые системы сепарации смесей. Для типовых систем сепарации найдены передаточные функции и произведен их анализ. В частности, исследованы процессы накопления металлических включений в замкнутых системах сепарации. Установлено, что процесс накопления металлических включений в оборотной смеси при наличии устройств сепарации носит ограниченный характер. Найдены предельные значения накопления и определена длительность процесса, которые зависят от извлекающей способности устройств сепарации. Определено влияние количества освежающих добавок на величину накопления включений.

Используя разработанные математические модели, можно рекомендовать при разработке новых систем сепарации смесей или модернизации существующих не только количество и типы устройств, но и требуемые их характеристики. Кроме того, это позволяет обоснованно определять требуемые характеристики для проектирования новых устройств сепарации смесей литейных цехов для конкретных условий производства.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО «НКМЗ»: ВОЗРОЖДЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Шумаков В. Ф.

(ЗАО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Литейное производство нашего предприятия обладает уникальными возможностями в области производства специальных отливок массой до 170 т, которые являются базовыми деталями для производства наших машин.

Особенность литейного производства НКМЗ – изготовление уникальных крупногабаритных отливок для высокопроизводительного прокатного, металлургического, кузнечно-прессового, гидротехнического, горнорудного, подъемно-транспортного и специального оборудования.

За последние пять лет мы модернизировали и обновили оборудование для производства отливок такой сложности и качества, что позволяет удовлетворить самые высокие требования заказчика.

Сегодня автоматизированные системы инженерного анализа (Computer Aided Engineering) становятся повседневным инструментом для инженеров-литейщиков. Область применения систем моделирования расширена от процессов затвердевания, чистой усадки к расчёту напряжений при кристаллизации и термообработке. За последнее время потенциал программ позволил перейти на уровень прогнозирования микроструктуры, степени сегрегации вредных примесей, значений механических свойств.

CAE-системы неразрывно связаны с конструкторскими (Computer Aided Design) CAD-системами объемного проектирования через (Product Data Management) PDM-системы (технологическое управление данными об изделии на протяжении его жизненного цикла) и образуют системы сквозного проектирования.

Специалисты наших конструкторских подразделений имеют существенную информационную поддержку со стороны литейщиков для формирования всех преимуществ отливки как конструкционного элемента машины. Это позволяет создавать оптимизированные литые конструкции деталей машин и помогает конструкторам оценить влияние процесса литья на особенности эксплуатации используемой отливки. Внесение изменений в технологический процесс по всем переделам происходит еще на этапе технологической подготовки производства и находится под управлением специалистов в области литья.

Интеграция с современными (Enterprise/Manufacturing Resource Planning) ERP/MRP-системами (управление ресурсами предприятия/подразделения) является завершающим звеном в успешно действующей цепочке:

«1. Конструирование – 2. Инжиниринг – 3. Изготовление – 4. Готовое изделие».

Анализ нынешнего состояния литейного производства НКМЗ показывает наличие отдельных элементов системы, которые можно интегрировать в сквозную систему, описанную выше.

1. Конструирование. Предприятие обладает мощными системами объемного конструирования, которые проектируют более 80 % изделий в трехмерном виде. Из этого объема проектируемых изделий отливки составляют 90 %, остальные изделия спроектированы до внедрения современных САД-систем. Создается система управления конструкторскими проектами PDM-DPP. Разрабатывается система электронного архива технической документации.

2. Инжиниринг. На НКМЗ внедрена средняя САЕ-система (разработчик – фирма МКС, Ижевск, Россия), год назад приобретена система высокого уровня MAGMASoft.

3. Изготовление. Внедрение современной технологии «фуран»-процесса, ввод в эксплуатацию высокопроизводительного смесителя непрерывного действия фирмы FAT с регенерацией отработанных смесей фирмы GUT создало предпосылки в короткие сроки выйти на качественно новый уровень производства литых заготовок, отвечающий требованиям современных европейских стандартов.

Современные достижения информационных технологий позволяют создать принципиально новый способ разработки технологического процесса гарантированного качества. Конструктор выдает объемную деталь в базу данных жизненного цикла изделия. Технолог-литейщик извлекает деталь, вносит технологические элементы и с помощью системы MAGMASoft моделирует процесс получения отливки, переносит ее в проект изготовления формы.

Технолог-модельщик проектирует модельный комплект и с помощью программного обеспечения «Симатрон» создает программу обработки на деревообрабатывающем центре. Далее идет подготовка, выдача технической и технологической документации в цеха производства.

Существующие мощности и технологические процессы обеспечивают изготовление отливок по самым современным технологиям и предназначены для производства продукции единичного характера.

По планам руководства НКМЗ, внедряемая система позволит:

- уменьшить негативное влияние человеческого фактора на технологические процессы;
- увеличить производительность труда при изготовлении модельных комплектов на 25–35 %;
- повысить «интеллектуальный» уровень разрабатываемых технологий;
- снизить себестоимость производства отливок.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕДНИСТОЙ СТАЛИ ДЛЯ ЗАМЕНЫ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ БРОНЗ И ЛАТУНЕЙ

Яковлев А. В., Радченко Н. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

В настоящее время для изготовления деталей антифрикционного назначения применяется оловянная бронза ОЦС 5-5-5 и другие оловянные бронзы. Одним из недостатков этого материала является его высокая стоимость.

Предлагается для замены отдельных видов бронз и латуней применять литейную меднистую антифрикционную сталь ДЗ1ЮЗ с содержанием свинца 3 %, что позволит при увеличении эксплуатационных свойств деталей значительно снизить расход цветных металлов. Наиболее дефицитные и дорогостоящие металлы – олово и цинк – отпадают вовсе, а медь – более чем на 50%.

Исследования проводились на опытной партии из 6 отливок. На образцах, изготовленных из отливок, было проведено определение прочностных и пластических свойств, ударной вязкости, измерение твердости и испытание на сопротивление износу.

Данные испытаний механических свойств, проведенных в лабораторных условиях завода ХТЗ (г. Харьков), представлены таблице 1.

Таблица 1

Данные проведенного исследования

№ пп	Временное сопротивление, кгс/мм ²	Предел текучести, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, кгсм/см ²	Твердость HRB (HB)	Объем углубления V1/1000мм ³
1	38,8	29,0	7,4	9,7	-	70 (126)	697,698,703
2	38	28,5	7,5	10,7	-	70 (126)	700,700,697
3	38,2	28,5	7,5	10,7	-	69 (121)	703,700,703
4	38,4	28,7	7,3	-	-	70 (126)	697,698,697
5	-	-	-	-	1,4	70 (126)	698, 702, 703
6	-	-	-	-	1,1	67 (116)	703, 703, 701

Примечание. Значение твердости является средним из 5-ти измерений.

Образцы для определения временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения и сужения были изготовлены и испытаны в соответствии с ГОСТ 1497-84. Испытания производились на универсальной испытательной машине растяжения-сжатия «OLSEN» в диапазоне нагрузок 0–15000 кгс.

Определение ударной вязкости произведено на маятниковом копре МК-10 на образцах с U-образным надрезом по ГОСТ 9454-78.

Измерение твердости произведено на шлифованных образцах после механических испытаний при помощи прибора ТК-2 шариком 2,5 дюйма по шкале HRV при нагрузке 100 кг (ГОСТ 9012-59).

Испытание на сопротивление износу было проведено на машине трения «Шкода-Саввин» в паре «опытная сталь – твердосплавный кружок». Размеры кружка: диаметр 30 мм, толщина 2,5 мм.

Испытание проведено на шлифованных и полированных образцах также после механических испытаний. Износ выражается объемом углубления, образованного в испытываемом образце вращающимся кружком.

По результатам исследований видно, что данный сплав можно успешно использовать во всех отраслях народного хозяйства, связанных с антифрикционными вращениями, а также в подшипниковом производстве.

ПУТИ УПРОЧНЕНИЯ ЖИДКОСТЕКОВЫХ ФОРМООБОЛОЧЕК ДЛЯ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ

Яковлев А. В., Фесенко А. Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)

При литье по выплавляемым и растворяемым моделям жидкостекляные формооболочки, несмотря на экономичность их изготовления, в применении ограничены ввиду низкой прочности в сравнении с этилсиликатными.

Наряду с влиянием остаточного Na_2O на прочность таких оболочек (и на качество поверхности отливок), важным при их формировании является процесс выделения связки SiO_2 из огнеупорной обмазки при взаимодействии ее с отвердителем.

Поэтому основной целью проведенных исследований было достижение прочности жидкостекляной оболочки уровня прочности оболочки, полученной при этилсиликатном (ЭТС) процессе за счет изменения условий и основных параметров формирования оболочки.

При изготовлении оболочки с сухим закреплением в базовых условиях на установке «кипящего» слоя песка концентрация частиц NH_4Cl в контактной зоне резко снижается (вплоть до нуля) с образованием «пассивного» слоя, обедненного отвердителем, за счет расходования его на иницирование SiO_2 в обмазке.

При этом практически мгновенно образуется затвердевшая плотная огнеупорная корка наружного слоя обмазки, за которой следует жидкая ее фаза. Сформировавшаяся твердая корка препятствует проникновению частиц NH_4Cl внутрь объема обмазки, вследствие чего образуется «пассивный» контактный слой, переход частиц NH_4Cl становится проблематичным, и в результате обмазка не «прорабатывается». Как следствие, получается низкая прочность в данном слое и в целом в 5–6-слойной оболочке: 2,5–2,8 МПа против 4,0–4,2 МПа в оболочке на этилсиликате. Этому способствует расширяющийся с каждым слоем обмазки «пассивный» слой и наличие в нем «непроработанного» Na_2O (до 2 %) как фактора снижения прочности оболочки. Поэтому происходит расслоение оболочки после обжига.

Следовательно, для повышения прочности жидкостекольной формооболочки условия ее твердения необходимо изменить так, чтобы на протяжении всего процесса плотность потока отвердителя к обмазке не снижалась (или снижалась незначительно) и поддерживалась оптимальная интенсивность процесса.

Такие условия возможно обеспечить, если состояние отвердителя вокруг слоя обмазки перевести из статического (базового) в динамический режим, то есть в состояние потока с одновекторной направленностью, когда в зону взаимодействия его с обмазкой непрерывно поступают «свежие» частицы NH_4Cl взамен израсходованных на инициирование частиц SiO_2 . При этом количество активных частиц NH_4Cl в контактной зоне не снижается ввиду отсутствия в данных условиях «пассивного» слоя, обедненного отвердителем, вследствие чего и в последующих за наружным слоем обмазки продолжается инициирование частиц SiO_2 . В результате эффективность твердения обмазки повысится и, следовательно, повысится ее прочность.

Указанные условия реализованы нами в технологическом процессе с использованием пескосыпа аэродинамического типа (патент Украины № 40091А), в котором твердение обмазки на выплавляемой или растворяемой модели осуществляется в обсыпной смеси песка и хлористого аммония в количестве 3,5–4,5 % от массы песка, находящейся в состоянии потока-кругооборота, который достигается непрерывным отбором смеси из нижней части пескосыпа с последующей передачей ее специальным устройством к верхнему уровню материала в нем. Изготовленные таким образом 5-слойные оболочковые формы на растворяемых моделях из пенополистирола имели прочность 3,5–3,7 МПа, что позволяет получать точные отливки из стали и чугуна, отвечающие требованиям точности и качества литой поверхности.

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОКСОГАЗОВЫХ ВАГРАНКАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ НА ЗАО «МЛЗ»

Ярмоленко А. И., Жук В. Л., Елагин В. Н., Непочатов А. В.
(ЗАО «Макеевский литейный завод», г. Макеевка, Украина)

В связи с резким подорожанием основного ваграночного топлива (кокса) на Макеевском литейном заводе было принято решение о целесообразности переоборудования коксовых вагранок в коксогазовые, что и обеспечивает в настоящее время снижение себестоимости продукции за счет снижения затрат на сырье и материалы.

Подача газа в вагранку осуществляется с помощью газовой горелки, разработанной институтом черных металлов АН УССР.

Тепловые процессы при плавке чугуна в коксогазовой вагранке подчиняются в основном тем же закономерностям, что и процесс плавки в коксовой вагранке, и определяются горением топлива, теплообменом между топливом, продуктами его сгорания и шихтовыми материалами, а также химическим взаимодействием между металлическими составляющими, шлаком и газовой средой.

Однако температурные условия коксогазовой вагранки отличаются от температурных условий коксовых вагранок. Наличие газовых горелок приводит к увеличению высоты зоны высоких температур или к образованию второй зоны высоких температур. Уровень зоны плавления металлической шихты в коксогазовой вагранке выше, благодаря этому температура металла в коксогазовой вагранке выше, чем в коксовой вагранке.

Использование природного газа и, соответственно, уменьшение доли кокса приводит к уменьшению содержания серы в чугуне, так как кокс является единственным источником серы.

Металл в коксогазовой вагранке длительное время соприкасается с газовой атмосферой, содержащей водород, чего не наблюдалось в коксовой вагранке. Однако при плавке в коксогазовой вагранке не удалось установить заметного влияния повышенного содержания водорода на качество чугуна.

При цене кокса и природного газа по состоянию на 01.01.08 г. экономия при переводе выплавки чугуна с коксовой вагранки на коксогазовую составила около 140 грн. на одну тонну годной продукции.

РОЛЬ MSI В МИРОВОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ В ОБЛАСТИ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Эффенберг Г.¹, Ильенко С.¹, Довбенко А.¹, Турчанин М.²
(¹ *MSIT Workplace & MSIT Phase Diagrams Center, Stuttgart, Germany,*
² *ДГМА, г. Краматорск, Украина*)

MSI (Materials Science International Services, GmbH) и MSIT® (Materials Science International Team) выполняют наиболее крупные в мире и самые длительные программы, касающиеся представления фазовых диаграмм в пределах Интернет-среды – www.matport.com. Этот исследовательский и информационный сайт имеет MSIT Workplace – защищенное рабочее пространство, которое обеспечивает постоянное персональное сотрудничество в международном масштабе. В то же время www.matport.com при условии наличия лицензии предлагает научному сообществу результаты международных экспертных работ посредством MSIT Phase Diagram Center. Цель – обеспечить непрерывный, полный обзор мировых знаний, достигнутых в области строения материалов, а также создать полную и надежную базу данных и фазовых диаграмм для всех неорганических материалов (за исключением солей). Таким образом, экспертные программы рассматривают знания, полученные в прошлом, настоящем и которые будут получены в будущем, стараются критически оценивать как можно большее количество данных по фазовым диаграммам и обеспечивают легкий доступ к накопленным знаниям.

Поставленная цель достигается путем международного сотрудничества, продолжающегося с 1984 г. В международных программах MSIT контролирует, накапливает и оценивает данные по фазовым равновесиям, кристаллическим структурам и термодинамике. За последние 23 года было собрано около 220 000 ссылок по литературе для приблизительно 30 000 комбинаций элементов. Этой международной научной группой были критически оценены известные экспериментальные данные для около 3700 тройных систем.

Для каждого конкретного случая используется вся доступная информация, включая эксперименты и специальные термодинамические расчеты, объединенные в критических обзорах. Обзоры включают в себя следующие разделы: введение (обобщенная информация о практической значимости системы и степени ее изученности), описание граничных бинарных систем, описание фаз системы и их кристаллического строения, квазибинарные разрезы системы, невариантные равновесия, поверхности ликвидуса, солидуса и солвуса, изотермические сечения, температурно-концентрационные разрезы, термодинамические свойства фаз, информация о механических и физических свойствах материалов и их применении, разностороннее описание свойств материалов системы.

Выводы представляются в виде интерактивных электронных документов, которые помогают инженерам и исследователям находить решения и разрабатывать модели для компьютерного моделирования. Критические обзоры публикуются в новой серии многотомного всемирно известного справочного издания Landolt-Boernstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology (New Series). Group IV: Physical Chemistry. «Ternary Alloy Systems. Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data» / под редакцией Г. Еффенберга и С. Ильенко. – Germany, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Программа MSIT выполняется в рамках реального международного сотрудничества, что в итоге обеспечивает контроль над приблизительно 6000 библиографическими изданиями, выходящими каждый год.

Наукове видання

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Редактори, комп'ютерна верстка:

М. А. Фесенко,
Я. О. Бершацька,
О. М. Болкова

Піди. до друку 29.08.08. Формат 60 x 84/16.
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 10,93. Обл.-вид. арк. 11,22.
Тираж 130. прим. Зам. № 151.

Видавець і виготовлювач
«Донбаська державна машинобудівна академія»
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 від 24.12.03.