

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ



НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ

МАТЕРІАЛИ

V Міжнародної науково-технічної конференції

Україна, Київ

2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ



НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ

МАТЕРІАЛИ

V Міжнародної науково-технічної конференції

Україна, Київ

2013

УДК 621.

Рекомендовано до друку вченою радою ІФФ НТУУ „КПІ”

Протокол № 05/13 від 22.05.2013 р.

У збірнику представлено матеріали, які висвітлюють актуальні проблеми ливарного виробництва: розроблення прогресивних ресурсозаощадних технологій, одержання литих виробів із різних металів і сплавів у разових ливарних формах і спеціальними способами лиття, фізико-хімічні основи металів і сплавів, теорії кристалізації і твердіння виливків, розроблення і використання перспективних формувальних матеріалів і сумішей, сучасні технології виготовлення ливарних форм і стрижнів, моделювання технологічних процесів ливарного виробництва.

Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали науково-технічної конференції, 28...29 травня 2013 р., м. Київ / загальна редакція Р.В. Лютий, І.М. Гурія. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2013. – 151 с.

Відповідальність за інформацію у наданих матеріалах несуть автори.

Технічний редактор: М.М. Ямшинський

Комп’ютерна верстка: Р.С. Оніщук

УДК 621.

© НТУУ „КПІ”, ІФФ, 2013

ЗМІСТ

1. РОЗДІЛ ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ.....	9
Адаменко Л.А., Иванова Л.Х. (НМетАУ, г. Днепропетровск) ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БРОНЕЙ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК	9
Анісімова О.А., Лютий Р.В., Шалай І.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ ФОСФОРНОКИСЛИХ СОЛЕЙ МЕТАЛІВ ІЗ ВИСОКОЮ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ	11
Бачинський В.Д., Івашина М.І., Сиропоршнев Л.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ВПЛИВ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА НА МІЦНІСТЬ СТРИЖНІВ НА ОСНОВІ СПУЧЕНОГО ПЕРЛІТУ	14
Белов Б.Ф., Троцан А.И., Буга И.Д., Носоченко И.В., Крейденко Ф.С. (ИПМ НАН Украины, г. Киев) РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНВЕРТЕРНЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ	15
Бондарь А.А., Колесник К.В. (ОНПУ, г. Одесса) ОХЛАЖДАЕМЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СТЕРЖНИ С ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ	16
Бурда М.Й., Криль А.О. (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) АДГЕЗИЙНА СКЛАДОВА КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ ТВЕРДОЗМАЩУВАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ... 18	18
Гнатущ В.А. (Независимый аналитик, г. Киев) ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ	19
Гресс О.В., Кобзева А.І. (ДДТУ, м. Дніпродзержинськ) ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ.....	21
Гресс А.В., Артемова Е.А. (ДГТУ, г. Днепродзержинск) ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА В ВЛПА	22
Гурія І.М., Белашко А.П., Застеба А.С., Савчук Н.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ПОРИСТІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	23
Гулько І.І., Порохня С.В., Дмитренко А.С. (ДГМА, г. Краматорск) НОВЫЙ СМЕСИТЕЛЬ С АЭРАЦИОННЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ	24
Деміденко О.А., Шаповал К.О., Зубрейчук М.С., Воробей А.П. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ПОРОШКОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ТА САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ ОТРИМАНІ СПІКАННЯМ У ПРИСУТНОСТІ РІДКОЇ ФАЗИ.....	25
Дурягіна З.А., Щербовських Н.В. (НУЛП, м. Львів) ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ З ОПЛАВЛЕННЯМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	27
Евдокименко В.О., Прилуцкий М.И. (НТУУ «КПІ» г. Киев) АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ В СТАЛЕЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	28
Жеманюк П.Д., Клочихин В.В., Лысенко Н.А., Наумик В.В. (АО "Мотор Сич", ЗНТУ, г. Запорожье) ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЖСЗДК-ВИ.....	32
Жижкина Н.А., Рюдигер Бер, Гутько Ю.И. (Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Магдебургский университет имени Отто-фон-Гюрике, Германия) ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛЮЧШЕННЯ КАЧЕСТВА МАССИВНЫХ ОТЛИВОК ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИДКИЙ МЕТАЛЛ.....	33

Зеленюк Ю.О., Шаломєєв В.А., Цивірко Е.І. (ЗНТУ, м.Запоріжжя) <i>КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ ЛИТОГО МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ-5 З ГАФНІЄМ</i>	35
Иванова Л.Х., Муха Д.В., Калашникова А.Ю., Маймур Я.С. (НМетАУ, г. Днепрпетровск) <i>ЛИКВАЦИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ВАЛКОВЫХ ЧУГУНАХ</i>	36
Івашина М.І., Бачинський В.Д., Сиропоршнєв Л.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ПЕЧІ ТА ЧАСУ ВИТРИМКИ В ПЕЧІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДІННЯ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ</i>	37
Казарин Д.А. (НТУУ «КПІ», г. Киев) <i>ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОТИТАНА ИЗ КОНЦЕНТРАТА</i>	38
Карпенко В.М. (БГАТУ, г. Минск) <i>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ</i>	40
Карпенко В.М., Карпенко М.И., Хомец У.С. (БГАТУ, г. Минск, ОАО «ГЛЗ «Центролит») <i>ПРОИЗВОДСТВО ТЕРМООБРАБАТЫВАЕМЫХ ЧУГУНОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН</i>	41
Карпенко Е.М., Карпенко В.М. (БГАТУ, г. Минск) <i>ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК</i>	42
Карпенко Е.М., Нестеренко В.В. (БГАТУ, г. Минск) <i>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДАПТИВНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ</i>	44
Кеуш Д.В., Лютий Р.В., Смольська В.С. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>НОВІ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНІВ У ГАРЯЧОМУ ОСНАЩЕННІ</i>	45
Кізіловам А.Ю., Дьомін Д.А. (НТУ «ХПІ», м. Харків) <i>ІМОВІРНІСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЛАВКИ</i>	47
Клок О.В., Чайковський О.А. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>КІНЕТИКА ЗМІНИ ФОРМИ ГРАФІТУ В ЧАВУНІ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАГРІВАННІ</i>	48
Козачук Є.В., Гурія І.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІНОАЛЮМІНІЮ</i> ..	49
Ковальчук О.В., Шейко О.І. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>РОЗРОБЛЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ ПРОТИПРИГАРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ, ЯКІ ГАЗИФІКУЮТЬСЯ</i>	51
Ковальчук О.Г. Кривда В.І. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>НА СВІТОВОМУ РИНКУ СТАЛІ УКРАЇНА ПОСТУПИЛАСЬ ТУРЕЧЧИНІ ТА БРАЗИЛІЇ</i>	52
Косячков В.О., Лук'яненко І.В., Михалевич Д.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ КРЕМНІЄМ ТА МАГНІЄМ НА МЕХАНІЗМ І КІНЕТИКУ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЧАВУНУ ПІД ЧАС ЕВТЕКТИЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ</i>	54
Красінський В.В.¹, Jachowicz T.², Duleba V.³ (¹ НУЛП, м. Львів, Україна; ² LUT, м. Люблін, Польща; ³ TUKE, м. Кошице, Словаччина) <i>АЛЮМОСИЛКАТНІ НАНОКОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ СУМІШЕЙ ПОЛІПРОПІЛЕН-ПОЛІКАПРОАМІД</i>	55
Красінський В.В.¹, Заплатинська Н.О.¹, Garbacz T.², Dulebova L.³ (¹ НУЛП, м. Львів, Україна; ² LUT, м. Люблін, Польща; ³ TUKE, м. Кошице, Словаччина) <i>НОВІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ НОВОЛАЧНИХ ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ</i>	57
Кужель Д.Г., Ямшинський М.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ</i>	58

Ладохін С.В., Сماشнюк Ю.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ОТРИМАННЯ ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗІ СПЛАВІВ СІМЕЙСТВА ТІКАД</i>	60
Левченко Ю.М., Надікова Д.М., Верховлюк А.М. (ФТІМС НАН України, м. Київ) <i>ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВУ СИСТЕМИ Al-Zn-Mg-Cu</i>	61
Леоха Ф.Л., Рябцев А.Д., Ратиев С.Н., Грицюк А.А. (ДонНТУ, г. Донецьк) <i>ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ТИТАНА МЕТОДОМ КАМЕРНОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА</i>	62
Лиман Г.М., Сиропоршнев Л.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>КІНЕТИКА ТВЕРДНЕННЯ СТРИЖНЕВОЇ СУМІШІ ДЛЯ КОМБІНОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ</i>	63
Лютий Р.В., Гурія І.М., Кеуш Д.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ОСОБЛИВОСТІ ЗМІЦНЕННЯ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ ІЗ ВОГНЕТРИВКИМ НАПОВНЮВАЧЕМ</i>	65
Лютий Р.В., Левіцька Т.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ У ТОНКОСТІННИХ ФОРМАХ</i>	67
Лютий Р.В., Мельниченко Д.С., Аді Б.Х. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНІВ НА ОСНОВІ ФОСФОРНИХ СОЛЕЙ НАТРІЮ І АЛЮМІНІЮ В ГАРЯЧОМУ ОСНАЩЕННІ</i>	69
Лютий Р.В., Набока В.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУР В КОНТАКТНІЙ ЗОНІ ВИЛИВКА З ЛИВАРНОЮ ФОРМОЮ ПІД ЧАС КРИСТАЛІЗАЦІЇ</i>	71
Малинов В.Л. (ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь) <i>НОВЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ И УПРОЧНЯЮЩИЕ НАПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ ТЕХНОЛОГИИ</i>	73
Малинов Л.С., Бурова Д.В., Гоманюк В.Д. (ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь) <i>СВОЙСТВА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ С НАГРЕВОМ В МЕЖКРИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР (МКИТ)</i>	75
Малинов Л.С., Бурова Д.В., Богданова Т.В. (ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь) <i>МАРГАНЦОВИСТЫЕ И ХРОМОМАРГАНЦОВИСТЫЕ СТАЛИ, ЧУГУНЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭФФЕКТ САМОЗАКАЛКИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ И / ИЛИ НАГРУЖЕНИИ</i>	76
Малинов Л.С., Бурова Д.В., Богданова Т.В. (ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь) <i>ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ С НАГРЕВОМ В МЕЖКРИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР (МКИТ) НА ИХ СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА</i>	77
Малинов Л.С. (ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь) <i>СПОСОБЫ ТЕРМООБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОЛУЧЕНИЕ В СТАЛЯХ И ЧУГУНАХ МНОГОФАЗНУЮ СТРУКТУРУ С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ</i>	79
Мамишев В.А. (ФТІМС НАН України, г. Київ) <i>СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ</i>	81
Мініцька Н.В., Ткачук І.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕНІ СВЕРДЕЛ НА ЇХ ЗНОШУВАННЯ</i>	82
Мініцький А.В., Караїмчук Є.С., Божко А.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ПОВЕРХНЕВЕ ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ</i>	84

Могилатенко В.Г., Трамана М.В., Санькова Є.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВИБІР ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ З ПІНОАЛЮМІНІЮ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ</i>	85
Оніщук Р.С., Гурія І.М., Черниш С.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА ПРОТОТИПІВ</i>	87
Парфентьев О.В., Ковальчук О.Г., Федоров Г.Є. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>МІКРОЛЕГУВАННЯ ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ</i>	88
Прокопчук М.А., Тошева О.Ю., Кочешков А.С. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ТОЧНИХ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ</i>	89
Радченко І.О., Радченко К.С., Федоров Г.Є., Ямшинський М.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ В УМОВАХ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ</i>	90
Радченко К.С., Платонов Е.А., Ямшинский М.М., Федоров Г.Е. (НТУУ «КПІ», г. Киев) <i>УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ТИТАНОМ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ</i>	92
Савчук Н.О., Гурія І.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ЛЕГОВАНОГО АЛЮМІНІЮ</i>	94
Самарай В.П., Майданчук О.Б. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ АРМОВАНОЇ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВОЇ МОДЕЛІ НА ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ</i>	95
Самарай В.П., Мирза А.И., Довбыш Н.А., Штефан А.В. (КМУ, ИЭМ, г.Киев) <i>РОЛЬ ЛИТЬЯ В ОСЛОЖНЕНИЯХ ПРИ ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИИ</i>	96
Самарай І.М.¹, Гнатуш В.А.¹, Самарай В.П.² (¹ незалежний аналітик, ² КМУ, м Київ) <i>УКРАЇНА НА СВІТОВОМУ РИНКУ БРУХТУ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ</i>	98
Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Думенко К.О. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) <i>ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ ТА МОДИФІКУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЯКІСНИХ ВИЛИВКІВ</i>	100
Соколовская Л.А. (ФТИМС НАН Украины, г. Киев) <i>ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ПЛАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</i>	102
Солидор Н.А., Милентьев В.А. (ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь) <i>ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ 70ХЛ И 75ХФТЛ</i>	103
Степанчук А.М., Бірюкович Л.О., Богатов С.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ПОРОШКОВІ ЛІГАТУРИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ СПЛАВІВ</i>	105
Тошева О.Ю., Чайковський О.А., Кочешков А.С. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ</i>	107
Троцан А.И., Каверинский В.В. Бродецкий И.Л. (ИПМ НАНУ, г. Киев) <i>ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК</i>	108
Федоров М.М., Катрушенко В.О. (ДДМА, м. Краматорськ) <i>КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕЦЕВМІСНИХ ПРОТИПРИГАРНИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПІЩАНО-БЕНТОНІТОВИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ</i>	110
Федорова Н.В. (ДДМА, м. Краматорськ) <i>ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОРМУВАННЯ ЦІНИ НА ПРОДУКЦІЮ МАШИНОБУДУВАННЯ ЦІННІСНИМИ МЕТОДАМИ</i>	112
Фесенко К.В., Косячков В.О., Вініченко В.Г. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОТРИМАННЯ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ</i>	113

Фесенко М.А.¹, Фесенко А.Н.², Могилатенко В.Г.¹, Мисюра С.В.¹ (¹ НТУУ «КПІ», г. Київ, ² ДГМА, г. Краматорск) ПЕРСПЕКТИВИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА	114
Шаломеев В.А., Цивирко Э.И., Зеленюк Ю.А., Зинченко М.М. (ЗНТУ, г. Запорожье) РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЬЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ	116
Шаповал А.А., Романчук Б.В., Левківська О.М., Сауліна Ю.В., Шаповал А.А. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ МЕТАЛОВОЛОКНИСТИХ І КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	117
Шевчук М.Б., Степанчук А.М., Демиденко О.А., Смик В.М. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ОТРИМАННЯ ПОКРИТТІВ НА ЛИВАРНИХ ВИРОБАХ З ВИКОРИСТАННЯМ САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ	119
Яким Р.С., Петрина Ю.Д*, Яким І.С. * (ДДПУ ім. І.Франка, м. Дрогобич); (*ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ВДОСКОНАЛЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ	121
2. РОЗДІЛ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА.....	123
Богушевский В.С., Пасичник М.Г. (НТУУ «КПІ», г. Київ) ГИБКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧАСТОК ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ	123
Богушевський В.С., Антоневич Я.К. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ПРИСТРІЙ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРЕС-ФОРМИ	124
Богушевський В.С., Забайрацький М.І., Мамчик Д.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ТЕРМОСТАТУВАННЯ ПРЕС-ФОРМИ	126
Богушевський В.С., Меженський О.М., Сирбу Ю.І. (НТУУ «КПІ», м. Київ) СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ	128
Гресс А.В., Стороженко С.А., Васик А.И. (ДГТУ, г. Днепродзержинск) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ	129
Жук С.В., Грабівський К.П. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ВИКОРИСТАННЯ CALS-ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ НОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	130
Красноухова Е.А. (НТУ «ХПІ», г. Харьков) МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	131
Лысенко Т.В., Бавнегра Л.В., Рафаловский А.Н. (ОНПУ, г. Одесса) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ DELSAM ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ХУДОЖЕСТВЕННОГО И ЮВЕЛИРНОГО ЛИТЬЯ	133
Самарай В.П., Самарай Р.В., Самарай І.М. (КМУ, г. Киев) МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕОРІЇ ГРАФІВ	135
Соценко О.В., Бобров Б.Б. (НМетАУ, г. Днепропетровск) КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ДОМЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ.....	138
Соценко О.В., Князев Р.А. (НМетАУ, г. Днепропетровск) КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ТЮБИНГОВ ДЛЯ МЕТРОСТРОЯ.....	140
Соценко О.В., Черданцев Д.С. (НМетАУ, г. Днепропетровск) КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В ПРОГРАММЕ SKETCHUP 8	141
Хмельковская И.В., Дёмин Д.А. (НТУ «ХПІ», г. Харьков) АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ	143
Ямшинський М.М., Грядовський І.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ШИХТИ ДЛЯ СТАЛЕЙ.....	144

3. РОЗДІЛ. РОБОТИ СЛУХАЧІВ МАН	146
Подорянко О.Я. (Гімназія №153, м. Київ) <i>ХУДОЖНЄ ЛИТВО БУЛО, Є І БУДЕ</i>	146
Федоров Г.Є., Бубіс А.О. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ЖАРОСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ</i>	147
Федоров Г.Є., Тульчинська М.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>ЗНОСОСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ</i>	149
Целуйко Є.О., Федоров Г.Є. (НТУУ «КПІ», м. Київ) <i>СПЕЦІАЛЬНІ СТАЛІ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ</i>	150

1. РОЗДІЛ ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Адаменко Л.А., Иванова Л.Х.
(НМетАУ, г. Днепропетровск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БРОНЕЙ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК

lucy87@inbox.ru

Следует отметить, что для получения стабильных эксплуатационных свойств деталей с комплексным модифицированием исключительную роль играет режим термообработки. В высокомарганцевой стали, легированной титаном, ванадием и хромом, всегда имеется определенное количество дополнительной карбидной фазы, содержание которой определяется не только концентрацией легирующих элементов в металле, но и его термообработкой.

От выбора оптимальных соотношений “легирующий элемент – термообработка” зависят многие свойства стали, в том числе ее пластичность, вязкость и износостойкость.

Введение в сталь легирующих элементов и повышения их содержания снижает теплопроводность стали за счет образования дополнительной фазы карбидов, нитридов и особенно окислов. Это снижает эффективное сечение образца и обязывает быть внимательным при выборе режимов термообработки отливок.

Исследование влияния термообработки на свойства легированной ванадием и хромом высокомарганцевой стали 110Г13Л проводили на отливках броней конусных дробилок, в верхней части которых были предусмотрены приливы в виде прибылей (толщина свыше 100мм) для металлографических исследований и механических испытаний.

Для установления определенных зависимостей “термообработка – свойства” исследовали распределение температурных полей в теле отливок, проходивших термообработку по двум основным режимам, принятым на заводах. Режим термообработки приведен в табл. 1, распределение температурных полей в отливках – на рис. 1 (а, б).

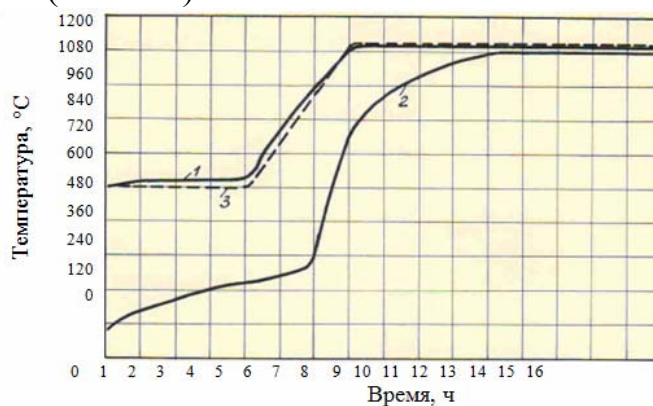
Таблица 1 – Режимы термообработки броней конусных дробилок

Операции термообработки	1	2
Загрузка в печь при температуре	600°C	300°C
Выдержка	4 ч	2 ч
Нагрев до 700°C со скоростью	–	50...70°C/ч
Выдержка	–	2 ч
Нагрев до 1100°C со скоростью	150...170°C/ч	150...170°C/ч
Выдержка	7 ч	4 ч
Длительность цикла	14 ч	18 ч

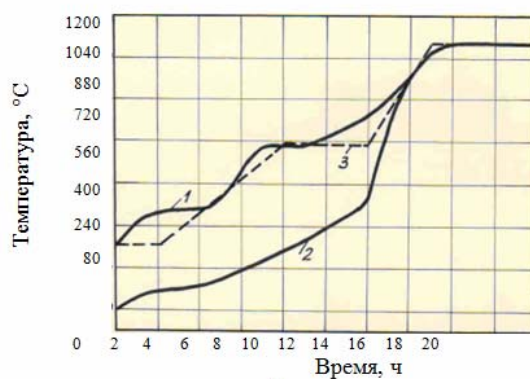
Исследования показали, что режим термообработки, представленный на рис. 1 а, не обеспечивает равномерности нагрева отливок в наиболее опасной зоне для высокомарганцевой стали 200...700°C. В таком интервале температур сталь имеет пониженную теплопроводность (12,98...19,26 Вт/(м·К) и высокий коэффициент линейного расширения ($18,0 \cdot 10^{-6} \dots 23,1 \cdot 10^{-6}$), что вызывает в отливках внутренние напряжения и предопределяет появление в них микротрещин.

Более равномерный прогрев отливок наблюдается при режиме термообработки, представленном на рис. 1 б. Скорость нагрева отливок до температуры 700°C при данном режиме составляет 50...60°C в час, и опасность появления микротрещин в отливках, как показали металлографические исследования, отсутствует. Несмотря на то, что выдержка отливок при температуре закалки по первому режиму предусмотрена 7 часов, фактически же она составляет только 3 часа, а по второму режиму – 4 часа, что способствует более полному растворению карбидов и более полному протеканию диффузионного процесса.

Как показано на рисунке, ванадий и хром, вследствие их большого химического сродства к углероду, образуют в стали большое количество труднорастворимых карбидов, для растворения которых необходима более высокая температура аустенизации или более длительная выдержка при принятой температуре закалки (1100 °С).



а



б

Рис. 1 – Распределение температурных полей в рабочей зоне печи и в отливке: а – первый режим; б – второй режим; 1 – температура в печи; 2 – температура металла; 3 – задание регулятору

Исследованиями установлено, что если для протекания всех диффузионных процессов при температуре 1100°С для стали 110Г13Л достаточна выдержка 1 час на каждые 20 мм сечения отливки, то для стали 110Г13ФТЛ и 110Г13ХТЛА время выдержки должно быть увеличено в 1,3...1,5 раза. Учитывая повышенное карбидообразование и пониженную теплопроводность стали с ванадием и хромом в интервале температур 300...700°С, выдержка отливок при данных температурах должна быть увеличена в 1,5...2,0 раза.

В результате проведенных исследований были рекомендованы и внедрены в производство следующие режимы термообработки, представленные в табл. 2.

Только после указанной термической обработки высокомарганцевая сталь, легированная ванадием и хромом, приобретает ценные для нее качества – более высокие механические свойства и износостойкость.

Таблица 2 – Режим термообработки отливок броней из стали 110Г13Л с легированием и без легирования

Операции термообработки	110Г13Л	110Г13ХТЛА 110Г13ФТЛ
Загрузка в печь при температуре, не выше	200...300°С	200...300°С
Выдержка	2 ч	2 ч
Нагрев до 700°С со скоростью	50...70°С/ч	50...60°С/ч
Выдержка	2 ч	3...4 ч
Нагрев до 1100°С со скоростью	160...180°С/ч	160...180°С/ч
Выдержка	4 ч	5...6 ч

Вывод.

Сталь, легированная хромом или ванадием, приобретает ценные для нее качества: более высокие механические свойства и износостойкость только при изменении режима термической обработки – увеличении времени выдержки при температуре закалки 1100°С на 30...50%.

Анісімова О.А., Лютий Р.В., Шалай І.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ ФОСФОРНОКИСЛИХ СОЛЕЙ МЕТАЛІВ ІЗ ВИСОКОЮ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ

До теперішнього часу в ливарному виробництві як зв'язувальні компоненти у вогнетривких сумішах застосовували фосфорнокислі солі заліза та магнію, зв'язувальна здатність яких широко відома. Вони являють собою кристалогідратну форму гідрофосфатів відповідних металів. Утворення таких солей відбувається безпосередньо у формі (в стрижні) при їх зміцненні. До складу сумішей мають входити чиста або частково нейтралізована ортофосфорна кислота та порошковий затверджувач на основі оксиду відповідного металу.

Свого часу промисловістю активно вироблялися фосфатні зв'язувальні компоненти (ЗК), серед яких найбільш відомими є алюмофосфатний та алюмохромфосфатний. Вони є прикладами частково нейтралізованої H_3PO_4 . Крім них, відомі також магнійалюмофосфатний, кальціймагнійалюмофосфатний, цинкмагнійалюмофосфатний та інші ЗК, які на цей час не виробляються.

Основним чинником, який стримав розвиток технологій виготовлення форм із сумішей з фосфорнокислими солями металів, була нестабільність хімічного складу порошкових матеріалів, які використовували як оксидні затверджувачі. Суміш може зміцнюватися і без затверджувача – при нагріванні. В залежності від типу ЗК, температура зміцнення є різною, від цього же залежить і структура зв'язувальних плівок. В ній переважають фосфати алюмінію, хрому, кальцію, магнію, та інших металів.

З іншого боку, аналогічні за структурою і властивостями суміші можна отримати на основі двокомпонентної системи, яка складається з ортофосфорної кислоти та хімічної сполуки, яка після взаємодії з нею забезпечить утворення фосфату відповідного металу. В першу чергу цими сполуками можуть бути солі металів, таких як магній, кальцій, марганець, алюміній а також калій і натрій.

Припустивши, що внаслідок хімічної взаємодії кислоти з сіллю металу утвориться фосфат із хорошим зв'язувальним потенціалом, він може бути відокремлений та використаний надалі як самостійний ЗК. Таким чином, готова суміш для отримання форми або стрижня може не вміщувати як компонент ортофосфору кислоту. Але така схема може бути реалізована, скоріш за все, тільки для водорозчинних фосфатів металів, оскільки при перемішуванні вони повинні утворити адгезійний зв'язок із наповнювачем, що неможливо для порошкової, нерозчинної у воді, добавки. Проте більшість фосфатів є нерозчинними у воді.

З точки зору реакційної здатності до H_3PO_4 , у взаємодію із нею можуть вступати солі металів, які відповідають одній із наступних вимог:

- сіль є водорозчинною, а при взаємодії з H_3PO_4 утвориться нерозчинний фосфат металу;
- сіль є водорозчинною, а при взаємодії з H_3PO_4 утвориться газоподібний продукт реакції. В такому разі розчинність фосфату не має значення;
- це є сіль слабшої у порівнянні із H_3PO_4 , кислоти. В такому випадку взаємодія повинна проходити при нормальних умовах.

При проведенні досліджень намагалися реалізувати два способи зміцнення сумішей:

- введення в суміш ортофосфорної кислоти разом з сіллю металу. Вміст кислоти і солі металу в сумішах по 3 %, вміст води 2%;
- проведення попереднього оброблення (протягом 1 год при $200^{\circ}C$) солі металу (50 г) ортофосфорною кислотою (10 г) з подальшим введенням у суміш отриманого матеріалу, який ми назвали зв'язувальною композицією. Вміст зв'язувальної композиції в сумішах 5%, вміст води 5%.

Із сумішей виготовляли стандартні циліндричні зразки, які зміцнювали при різних температурах: від нормальної до 200°C. Результати представлені на рис. 1.

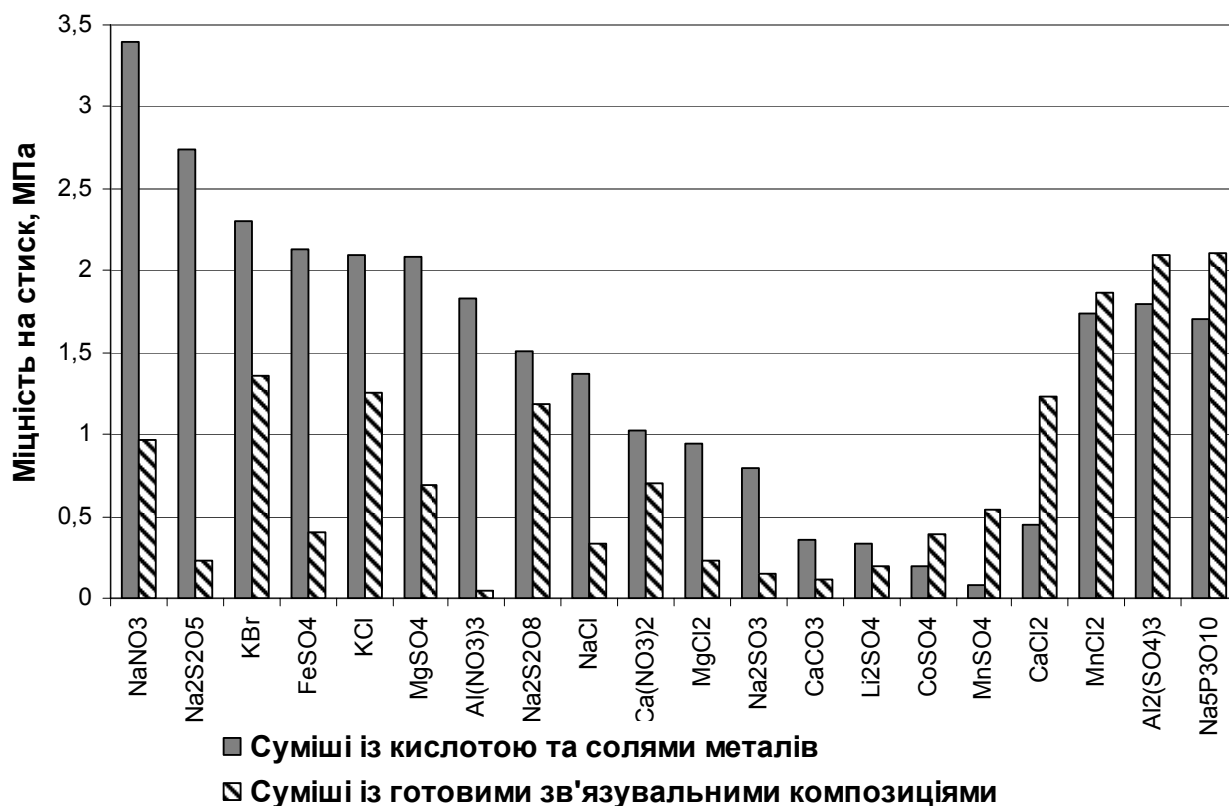


Рис. 1 – Міцність досліджених сумішей

За отриманими даними можна судити про різноманітність процесів взаємодії неорганічних солей металів з ортофосфорною кислотою, що призводить в одних випадках до утворення міцних зв'язувальних компонентів при прямій взаємодії (сіль + кислота), а в інших – до утворення стабільної порошкової зв'язувальної композиції. Таку зв'язувальну композицію утворюють меншість із досліджених матеріалів (див. рис. 1), але подальша робота із ними має перспективу, оскільки досягаються високі показники міцності.

В попередніх роботах кафедри вже розроблені суміші на основі $Al(NO_3)_3$, $NaCl$, $Ca(NO_3)_2$, $CaCl_2$, $Na_5P_3O_{10}$. Тому найбільш цікавими для подальших експериментів є суміші з додаванням H_3PO_4 і таких сполук як $NaNO_3$, $FeSO_4$, $MgSO_4$ та солі калію. А для приготування зв'язувальних композицій оптимальними є $MnCl_2$ та $Al_2(SO_4)_3$.

Бачинський В.Д., Івашина М.І., Сиропоршнєв Л.М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВПЛИВ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА НА МІЦНІСТЬ СТРИЖНІВ НА ОСНОВІ СПУЧЕНОГО ПЕРЛІТУ

Для визначення необхідної кількості зв'язувального компонента було досліджено вплив смоли СФП-011Л та пінополістиролового зв'язувального компонента на міцність суміші.

Для дослідів було виготовлено суміші з різною кількістю зв'язувального компонента. Зв'язувальний компонент в суміш подавався з різною концентрацією, тобто з різним вмістом відходів пінополістиролу в живичному скипидарі.

Склад сумішей з пінополістироловим зв'язувальним компонентом приведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив пінополістиролового зв'язувального компонента на міцність стрижнів

№ суміші	Кількість спученого перлиту, об. %	Кількість зв'язувального компонента в суміші, об. %	Концентрація зв'язувального компонента, %	Тимчасовий опір при розриванні, МПа
1	95	5	10	0,008
2		5	20	0,01
3		5	30	0,02
4	90	10	10	0,02
5		10	20	0,07
6		10	30	0,065
7	80	20	10	0,053
8		20	20	0,11
9		20	30	0,26

З представлених складів сумішей виготовляли зразки «вісімки», які витримували в печі протягом 30 хв. при температурі 250°C. Міцність зразків на розрив визначали на розривній машині РП-110.

Оптимальною сумішшю можна вважати суміш з концентрацією зв'язувального компонента 30 об. %, оскільки саме ця суміш має найкращі показники, міцність досягає 0,26 МПа. Стрижні з концентрацією зв'язувального компонента 20% та 10% мають нижчу міцність. Це явище пояснюється високим вмістом рідкої фази в суміші.

Для визначення впливу зв'язувального компонента СФП-011Л на міцність стрижнів виготовляли зразки з сумішей, склад яких представлений в табл. 2, та витримували в печі протягом 5 хв. при температурі 250°C.

При підвищенні вмісту зв'язувального компонента в суміші до 10,5 об. % відбувається більш інтенсивне зростання міцності, ніж при подальшому збільшенні його кількості.

Таким чином, встановлено, що оптимальним розчином для приготування суміші з пінополістирольним зв'язувальним компонентом можна вважати 30%-й розчин пінополістиролу в живичному скипидарі, так як цей розчин має найвищі показники міцності при розриванні.

Таблиця 2 – Вплив зв'язувального компонента СФП-011Л на міцність стрижнів

№ експ.	Склад суміші, об.%			Тимчасовий опір при розриванні, МПа
	спучений перліт	СФП-011Л	етилацетат	
1	100	3,0	1,0	0,01
2	100	5,5	1,0	0,05
3	100	8,0	1,0	0,09
4	100	10,5	1,0	0,11
5	100	13,0	1,0	0,12

Встановлено, що СФП-011Л має високу газотвірну здатність, то збільшення вмісту його у суміші негативно відобразиться на газовому режимі форми і може призвести до утворення газової поруватості у виливку.

Белов Б.Ф., Троцан А.И., Буга И.Д., Носоченко И.В., Крейденко Ф.С.
(ИПМ НАН Украины, г. Киев)

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
КОНВЕРТЕРНЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**

fkreyd@mail.ru

Производство стали является главной составляющей горно-металлургического комплекса Украины, однако для обеспечения конкурентоспособности необходимо снижение ее себестоимости и обеспечение высокого качества. Кроме того, высокая энерго- и материалоемкость производимой металлопродукции приводит к резкому сокращению природных ресурсов и к накоплению промышленных отходов, повышая экологическую нагрузку на окружающую среду.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка ресурсосберегающей технологии производства конвертерных сталей с использованием шихтовых и присадочных материалов из вторичного металлургического сырья, что позволит повысить технико-экономические показатели выпускаемой металлопродукции.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, которые базировались на основных положениях теории строения шлаковых и металлических расплавов по модели гармонических структур вещества (теория МГС-фаз), были изучены структурно-химические аспекты процессов рафинирования железоуглеродистых расплавов и разработана ресурсосберегающая технология производства конвертерной стали с использованием пла-

вильных и экологически безопасных бесфтористых активированных шлаков, отходов горно-металлургического производства и стальной-накопителей, а также физико-химического воздействия при непрерывной разливке.

Разработанная поточная ресурсосберегающая технология рафинирования конвертерной стали включает:

- десульфурацию доменного чугуна плавильными шлаками;
- формирование жидкоподвижного плавильного шлака в конвертере присадками вторичных бесфтористых алюмосиликатных флюсов – шамотный бой, ставролитовый или дистен-силлиманитовый концентраты;
- ковшевую обработку стали попутным плавильным шлаком и вторичными алюмосиликатными флюсами – шамотным боем или дистен-силлиманитовым концентратом, или шлакометаллические смеси с использованием присадочных материалов – извести и ферросплавов;
- использование сталеразливочных ковшей-накопителей для выпуска плавки из конвертера;
- комплексную защиту жидкого металла при непрерывной разливке на участке «стальной – промковш» и «промковш – кристаллизатор»;
- газоимпульсное перемешивание жидкого металла в объеме кристаллизатора МНЛЗ;
- пневмовибрацию оболочки затвердевающего непрерывнолитого блюма на МНЛЗ;
- ввод порошковых проволок с различными наполнителями в стальной-ковш и промковш МНЛЗ для рафинирования и микролегирования стали.

При реализации разработанной ресурсосберегающей поточной технологии рафинирования конвертерных сталей с использованием вторичных присадочных материалов в условиях конвертерного цеха Днепровского металлургического комбината ожидаемый экономический эффект за счет снижения расхода извести, плавикового шпата, ферросплавов и увеличения выхода жидкого металла составит не менее 15,0 грн/т готовой стали. Годовой экономический эффект при выплавке 500 тыс. тонн конвертерной стали составит 7,5 млн. грн.

Бондарь А.А., Колесник К.В.
(ОНПУ, г. Одесса)

**ОХЛАЖДАЕМЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СТЕРЖНИ С
ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ**
kristykrista@mail.ru

В настоящее время в машиностроении требуется большая номенклатура литых деталей со сложными полостями, к качеству которых предъявляются повышенные требования. Такие полости можно получать при помощи металлических стержней.

Поскольку металлические выплавляемые стержни изготавливаются из материала с температурой плавления значительно ниже температуры плавления материала отливки, в которой оформляется полость, при непосредствен-

ном контакте такого стержня с жидким металлом может произойти его преждевременное оплавление, т.е. он может начать плавиться до того, как в отливке со стороны стержня наморозится корка достаточной толщины.

Для предотвращения оплавления рабочую поверхность выплавляемого стержня покрывают теплозащитным покрытием.

В качестве теплозащитного материала могут применяться различные краски [1, 2]. Наиболее важной характеристикой краски в данном случае является теплопроводность.

В табл. 1 представлены значения коэффициента теплопроводности для некоторых красок [1, 2].

Таблица 1 – Коэффициент теплопроводности некоторых красок

№	Мел	Тальк прокаленный	Окись цинка	Двуокись титана	Асбест прокаленный	Графит коллоидальный	Зубной порошок	Борная кислота	Жидкое стекло	Вода	$\lambda_{\text{кр}}$ Вт/(м*К)
1	2,5					10,0	15,0		3,0	69,5	0,44
2	10,0								3,0	87,0	0,224
3						4,0			3,0	93,0	0,128
4	21,0	7,0						0,7		71,3	0,18
5	8,0		5,5	4,0					4,5	78,0	0,35
6			5,5		12,0				12,5	70,0	0,29
7			6,7						4,4	88,9	0,45
8					30,0				4,0	66,0	0,166

Но толщина слоя наносимой краски ограничена, и не всегда достаточна для эффективной теплозащиты, что в свою очередь требует дополнительных мер по защите стержня от расплавления.

В связи с этим предложена технология охлаждения стержней жидкими теплоносителями, в качестве которых может быть использована вода или масло. А слой краски выполняет функцию защиты в начальный момент на границе контакта «стержень – заливаемый металл».

Охлаждение металлического стержня может производиться при помощи термостатирующего оборудования, которое обеспечивает необходимую температуру за счет регулирования температуры теплоносителя на «входе» и на «выходе». Для подбора термостатирующего оборудования необходимо знать следующие параметры: массу отливки (с ЛПС), количество отливок, производимых в час, температуру заливки, температуру выбивки, теплоемкость металла при заливке и при выбивке.

Таким образом, рассмотренная технология изготовления легкоудаляемых металлических охлаждаемых стержней позволяет получать стержни высокого качества со стабильными свойствами за счет охлаждения стержня, оптимальной толщины и состава теплозащитного слоя.

Література:

1. С.Л. Бураков, А.И. Вейник, Н.П. Дубинин. Литье в кокиль. – М.: Машиностроение, 1980. – 415 с.
2. Справочное пособие «Кокильное литье» / Под ред. В.А. Комиссарова. – М.: Машиностроение, 1967.

Бурда М.Й., Криль А.О.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
АДГЕЗІЙНА СКЛАДОВА КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ
ТВЕРДОЗМАЩУВАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

Серед вже відомих покриттів на основі твердих мастил і металічних складових, високими антифрикційними властивостями відрізняється мідно-срібне твердозмащувальне покриття [1].

Як відомо, з фундаментальних уявлень молекулярно-механічної теорії тертя, коефіцієнт зовнішнього тертя складається з адгезійної і деформаційної складових. Мета даного дослідження – визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя мідно-срібного твердозмащувального покриття.

Нанесення мідно-срібного твердозмащувального покриття проводили за відомою методикою [1]. Структура покриття складалась із кількох шарів. Основа із сталі 45, на яку наносилось покриття, має шар глибокого фосфатування внаслідок дії ортофосфорної кислоти. На фосфатному шарі наявні вкраплення срібла, міді та заліза. Вище фосфатного шару спостерігається своєрідний структурний каркас, утворений знизу зі срібла, а зверху – в основному з міді. Структурний каркас зі срібла та міді заповнений частинками твердого мастила (дисульфиду молібдену). Зовні покриття повністю покрито суцільним шаром дисульфиду молібдену. Така структура забезпечує формування покриття, в якому реалізується позитивний градієнт зсувного опору.

Адгезійну складову коефіцієнту тертя визначали на пресі Брінелля із спеціальним приспособуванням по методиці [2]. Випробування проводили в умовах сухого тертя, вдавлюючи і повертаючи кульки діаметром 10 мм зі сталі ШХ15 по зразках із твердозмащувальним антифрикційним покриттям. Для порівняння досліджували також зразки зі сталі 45 без покриття. Навантаження змінювали від 5000 до 30000 Н.

Результати досліджень свідчать, що адгезійна складову коефіцієнту тертя (рис. 1 а) і відповідно сумарний коефіцієнт тертя (рис. 1 б) мідно-срібного твердозмащувального покриття в 3...4 рази нижчі, ніж у сталі 45. Низькі значення коефіцієнту тертя перш за все забезпечуються наявністю в складі покриття твердої змазки – дисульфиду молібдену, а також включень срібла та міді.

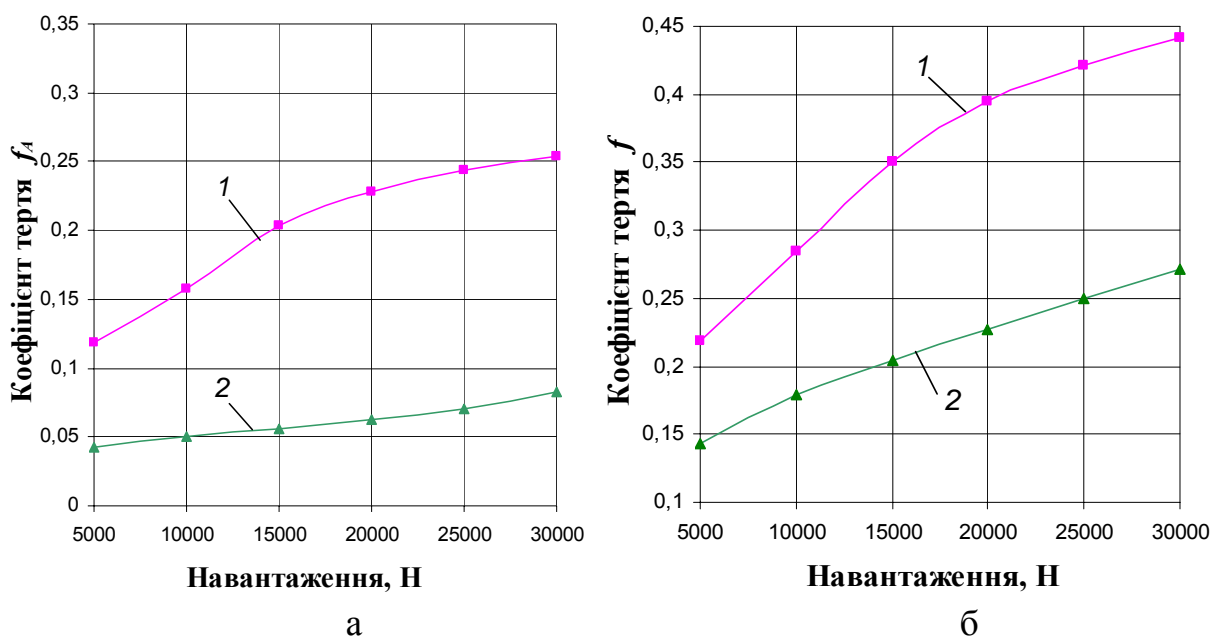


Рис. 1 – Залежність адгезійної складової коефіцієнту тертя (а) та сумарного коефіцієнту тертя (б) від навантаження: 1 – для сталі 45 без покриття; 2 – для твердозмащувального покриття на сталі 45

У зв'язку з викладеним, мідно-срібне твердозмащувальне покриття можна рекомендувати для деталей точного машинобудування та нафтогазової галузі, де по умовах роботи неможливо застосування звичайних мастил і змащувальних систем.

Література:

1. Кутьков А.А. Износостойкие антифрикционные покрытия. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
2. Кузьменко А.Г. Твердость и трение: определение механических свойств поверхности по внедрению к сдвигу шара // Проблемы трибології. – 2008. – №3. – С. 15...43.

Гнатуш В.А.

(Независимый аналитик, г. Киев)

ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

vgnatush@gmail.com

Развитие мирового литейного производства определяется состоянием экономик стран, уровнем бизнеса национальных и транснациональных компаний, спросом разработчиков новых товаров на новые литейные сплавы, а также уровнем науки о металлах и способностью исследователей генерировать новые идеи.

Производство отливок в мире, несмотря на замедление мировой экономики в 2008...2009 гг. и в 2012г., характеризуется повышательным трендом (рис. 1). Согласно данным Modern Casting, производство в мире отливок из черных и цветных металлов в 2011 г. составило 98,6 млн. т. Оценочно в 2012 г. производство отливок уменьшится на 1,0%, а в 2013 г. увеличится на

3,4% против уровня 2011 г. Ожидается, что в 2013 г. производство отливок в мире превысит 100 млн. т.

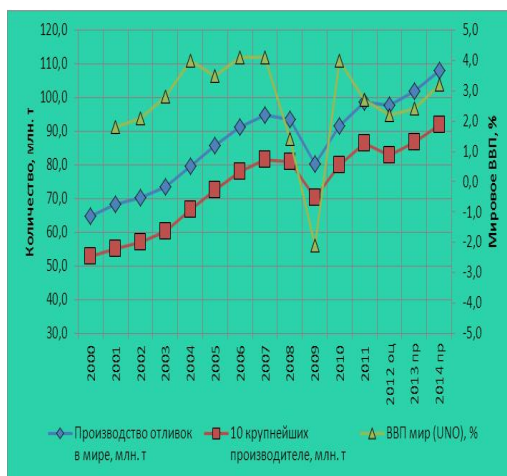


Рис. 1 – Динамика производства отливок в мире и изменение ВВП мировой экономики

За период с 2001 г. по 2011 г. материальная структура производимого в мире литья претерпела определенные изменения (рис. 2). В частности, доля отливок из серого чугуна уменьшилась с 54,5 до 46,5%, а высокопрочного чугуна увеличилась с 19,4 до 25,1% по тоннажу. Стабильно преобладающим является применение отливок из чугуна (73,1%) против стальных отливок (10,5%) по итогам 2011 г. Среди цветных сплавов вне конкуренции алюминиевые сплавы, на долю которых в 2011 г. пришлось 13,4% по тоннажу.

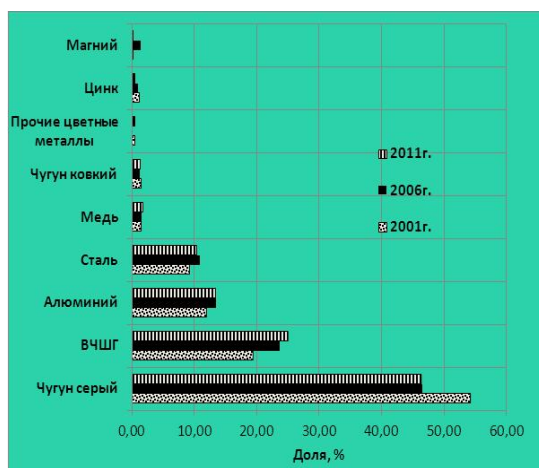


Рис. 2 – Материальная структура производства отливок в мире (по данным Modern Casting)

Материальная структура отливок украинского производства существенно отличается от мировой (рис. 3). Подавляющее преимущество имеет стальное литье, доля производства которого с 2010 г. по 2012 г. увеличилась с 71,2 до 76,4% по тоннажу. При этом доля чугуночного литья сократилась с 25,4 до 20,9%. Что касается отливок из цветных металлов, то их доля уменьшилась с 3,5 до 2,7% по тоннажу.

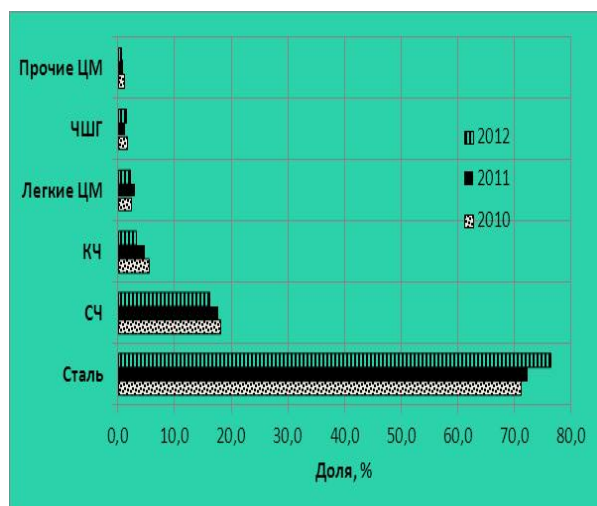


Рис. 3 – Матеріальна структура виробництва отливок в Україні (исходные данные Государственной службы статистики Украины)

В то же время в Украине направленность научно-исследовательских работ в сегменте литейных сплавов несколько отлична от материальной структуры производимых в стране отливок. Анализ материалов II Международной научно-практической конференции «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология» (2012 г.) свидетельствуют, что объектами научных исследований в Украине в последние годы являются алюминиевые сплавы (35,5%), сталь (25,8%), чугун (17,7%), цветные металлы прочие (9,7%), а также композиционные (9,7%) и электронные материалы (1,6%). Причем 61,9% предлагаемых технологий направлены на управление процессов кристаллизации изнутри, а 38,1% – на внешнее воздействие на металл.

Гресс О.В., Кобзева А.І.

(ДДТУ, м. Дніпродзержинськ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ПРОЦЕС КРИСТАЛІЗАЦІЇ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ

agress@ua.fm

Актуальність теми обумовлена потребою металургійної промисловості в отриманні якісних металовиробів. Цю проблему можна вирішити декількома способами, пов'язаними, головним чином, з різними методами дії на вилівок, що кристалізується. Робіт по вивченню впливу електричного струму на кристалізацію сплавів небагато. Ціль роботи – дослідити вплив постійного електричного струму на макроструктуру сплаву, що кристалізується.

Для вирішення поставленої задачі було обрано алюміній марки АЛ6 ГОСТ 2685-75. Під час дослідів проводилися виміри показників сили струму, опору розплаву алюмінію і напруги в ланцюгу, дослідження макроструктури шліфів. Макроструктуру вивчали шляхом порівняння дослідного та звичай-

ного зразка з використанням світлового мікроскопу Neophot-21 з різним ступенем збільшення.

В ході досліджень виявлено, що найбільше зниження розміру зерна (до 5 балів, ДСТУ ГОСТ 21073.1-75) було отримано на зразку, який був оброблений електричним струмом зворотної полярності силою 3 А при скважності 2 меандру. При цьому розмір грубої голчастої евтектики, зерен чистого алюмінію, альфа-твердого розчину кремнію в алюмінії став суттєво більшим, ніж у порівняльному зразку.

Таким чином, результати досліджень показали доцільність та ефективність дії електричного струму для покращення структури зливків.

Розгляд механізму дії постійного електричного струму показав, що дія струму далеко неоднозначна і має багато наслідків. Тому це питання вимагає подальших кропітких і докладних досліджень.

Гресс А.В., Артемова Е.А.
(ДГТУ, г. Днепродзержинск)

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА В ВЛПА

Одним из наиболее перспективных направлений развития металлургии, в том числе в Украине, является получение металлических полос в валковых литейно-прокатных агрегатах (ВЛПА). Сложность использования ВЛПА заключается в высоких требованиях к технологическому оборудованию и скоротечности протекающих процессов кристаллизации металла. Поэтому для детального изучения влияния условий разливки металлических полос на качественные показатели продукции зачастую прибегают к математическому моделированию.

При математическом моделировании кристаллизации металла в ВЛПА зачастую предполагают, что скорость изменения толщины затвердевшего металла подчиняется закону квадратного корня, коэффициент затвердевания в котором находится в достаточно широком диапазоне и определяется, как правило, опытным путем. В то же время, имеются данные, свидетельствующие о наличии зависимости толщины кристаллизующейся корки от времени процесса кристаллизации в некоторой степенной зависимости. Однако и в этом случае вопрос о значении константы затвердевания остается открытым.

Решение поставленной задачи об изучении динамики роста корки металлических полос в процессе валковой разливки возможно посредством использования более точных методов прикладной математики, в частности, метода Дюзинбера, предполагающего учет движения границы твердой оболочки посредством разностной аппроксимации со вторым порядком точности дифференциального уравнения теплопроводности. Причем такой учет осуществляется косвенно посредством расчета «избыточной» температуры.

Разработанная нами численная модель позволила определить зависимость скорости кристаллизации от теплофизических свойств сплава, его хи-

мического состава, геометрических характеристик ВЛПА, частоты вращения валков, температуры заливаемого металла и теплоотвода в пределах лунки жидкого металла.

Гурія І.М., Белашко А.П., Застеба А.С., Савчук Н.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ПОРИСТІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

В останні роки широке використання в багатьох галузях сучасного виробництва набули композиційні матеріали (КМ). Саме з розробленням і застосуванням нових конструкційних матеріалів і пов'язані перспективи розвитку технічного прогресу. Особливу увагу серед цих матеріалів заслуговують пористі композиційні матеріали.

Основою матриці КМ можуть служити метали або сплави (КМ на металевій основі), а також кераміка, скло, вуглецеві матеріали та полімери (КМ на неметалевій основі).

Застосування високопористого металевого матеріалу у певній галузі перш за все визначають топологією коміркової структури, яка обумовлює різні можливості у забезпеченні необхідних властивостей. Так, високопористі метали з незамкненими комірками виявляють спроможність до вільного проходження рідин та газів, а високопористі метали із замкненими комірками мають вищу питому міцність, краще витримують навантаження в пружній області деформацій, надають елементам конструкцій теплоізоляційні властивості та спроможність щодо захисту від електромагнітного випромінювання. Найкращі звукоізоляційні властивості спостерігаються у разі змішаного типу комірок. З оглядом на це, високопористі метали можна класифікувати на матеріали конструкційного та функціонального призначення.

У визначенні галузі застосування високопористих металевих матеріалів, важливе місце посідають:

- відносна густина, розмір та площа поверхні пор;
- фізико-механічні властивості вихідного металу;
- можливості технологічного процесу щодо надання виробу необхідної конфігурації.

До високопористої та спіненої кераміки належать КМ з комірковою структурою, створені на основі природних речовин (діатоміт, шамот, кварц, глина, тощо) або штучних керамічних сполук (оксиди, карбіди, нітриди, тощо).

Спінене скло – це скло із комірковою (пористою) структурою, яка забезпечує високі теплоізоляційні властивості та здатність матеріалу до звукопоглинання. Розрізняють скло із замкненими комірками (теплоізоляційне) і частково замкненими комірками (будівельно-ізоляційне).

Високопористий графіт – новий композиційний матеріал з відкритою пористістю, в якому незамкнені комірки відокремлені перемичками переважно на основі аморфного вуглецю. Високопористий графіт утворюється при

нагріванні попередньо окисленого графіту і має вигляд спіненої маси з кольором олівцевого грифелю.

До високопористих кам'яних матеріалів належать природні та штучні матеріали з комірковою структурою. До групи природних високопористих кам'яних матеріалів входить пемза та туфолава. Серед штучних високопористих кам'яних матеріалів розрізняють спінений бетон, спінений попілобетон, спінений попілосилікат, спінений магнезит, спінений шлакобетон, спінений шлакопопілобетон, пористий гіпс, а також шлакову пемзу.

Спінені полімерні матеріали з незамкненими комірками (відкритою пористістю) виробляють на основі гнучких полімерів, а спінені полімери із замкненими комірками (закритою пористістю) – на основі жорстких полімерів.

Найчастіше для виробництва спінених полімерів використовують поліуретан (ПУ), поліетилен (ПЕ), полістирол (ПС), полівінілхлорид (ПВХ).

Гуцько І.І., Порожня С.В., Дмитренко А.С.

(ДГМА, г. Краматорск)

НОВЫЙ СМЕСИТЕЛЬ С АЭРАЦИОННЫМ ПЕРЕМЕШИВАНЕМ

ya.ergey@yandex.ua

В настоящее время в литейном производстве широкое распространение получили холоднотвердеющие смеси (ХТС) и хорошо известное оборудование для их приготовления – лопастные двухрукавные смесители. Первый рукав таких смесителей – шнековый – служит для предварительного перемешивания сыпучих компонентов и их транспортирования в следующий второй рукав. Вторым рукавом служит для окончательного изготовления смеси. Первый рукав представляет собой короткий шнековый транспортер и несет все недостатки: быстрое истирание лопастей, забиваемость рукава песком, быстрый выход из строя подшипников, перетиранье частичек песка на более мелкую фракцию, неполный размол отдельных комков смеси, поступающих после участка регенерации и подготовки песка.

Предлагается заменить первый рукав смесителя перемешиванием сыпучих материалов альтернативным способом – камерой воздушного перемешивания, что закреплено в документе – Патент 27197 Україна, МПК В22С 5/00. Усовершенствованный смеситель приобрел вид, представленный на рис. 1. Это однорукавный низкоскоростной лопастной смеситель с аэрационной камерой для обеспыливания и предварительного перемешивания сыпучих компонентов. Первая часть смесителя называется аэрационной камерой предварительного перемешивания. Аэрационная камера работает следующим образом: после загрузки смеси в загрузочное окно подается сжатый воздух через сопло на аэрарешетку. Поэтому смесь находится в «кипящем» состоянии, что не дает ей слеживаться в нижней части камеры. Смесь перетекает к разгрузочному патрубку, подхватывается воздухом, исходящим из сопла, и направляется по пескопроводу, снабженному системой сопел для перемешивания компонентов смеси без касания стенок пескопровода.

Далее смесь через разгрузочное отверстие попадает в смесительную камеру. Цикл повторяется. После окончания перемешивания открывается разгрузочное отверстие посредством шибберной заслонки, и перемешанный материал поступает во вторую часть смесителя – лопастной смеситель.

Вторая часть смесителя образована горизонтальной гильзой, внутри которой находится вал с лопатками, расположенными по винтовой линии. В этой части смесителя сыпучие компоненты перемешиваются со смолой-катализатором и активатором, подаваемыми с помощью дозатора оригинальной конструкции. Дозатор – это поршневой насос, обеспечивающий саморегуляцию дозирования жидких компонентов в зависимости от конечного изменения предела прочности холоднотвердеющей смеси после затвердевания. Дозаторов на корпусе горизонтальной камеры устанавливается не менее двух. Учитывая, что камера окончательного приготовления смеси имеет вертикальную плоскость разъема, дозаторы установлены по обе стороны разъема и ближе к выпускному отверстию смеси. Готовая смесь из смесителя поступает в стержневой ящик или литейную форму.

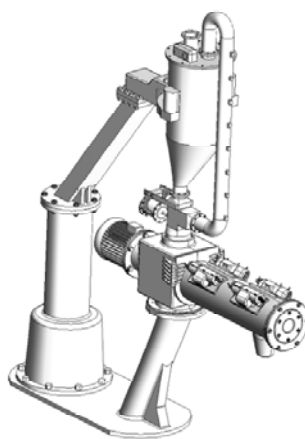


Рис. 1 – Схема смесителя ХТС с аэрационной камерой обеспыливания и предварительного перемешивания

Таким образом, предложен смеситель с аэрационной камерой предварительного перемешивания, которая позволяет обеспечить равномерное перемешивание компонентов смеси за счет воздействия воздушных потоков внутри пескопровода.

Деміденко О.А., Шаповал К.О., Зубрейчук М.С., Воробей А.П.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**ПОРОШКОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА
ТА САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ ОТРИМАНІ СПІКАННЯМ У ПРИ-
СУТНОСТІ РІДКОЇ ФАЗИ**
astepanchuk@iff.kpi.ua

Порошкові конструкційні матеріали – найбільш розповсюджений вид продукції порошкової металургії, які успішно конкурують з матеріалами, ви-

готовленими традиційними методами литва за рахунок зменшення матеріало- і енергоємності та своїх специфічних властивостей [1].

В залежності від умов експлуатації, конструкційні порошкові матеріали можна розділити на дві групи:

– матеріали, які замінюють звичайні вуглецеві та леговані сталі, чавуни та кольорові метали;

– матеріали зі спеціальними властивостями – високою зносостійкістю, твердістю, жароміцністю, жаро- та корозійностійкі, зі спеціальними магнітними, електро- та теплофізичними властивостями, з низькою та високою щільністю.

Фізико-механічні властивості порошкових конструкційних матеріалів при інших рівних умовах визначаються щільністю виробів, а також їх структурою, зумовленою умовами їх отримання та складом.

В роботі досліджувались умови отримання та властивості композиційних конструкційних матеріалів на основі заліза за участю самофлюсівних сплавів (СФЗ) [2], які є джерелом легувальних елементів та мають низьку температуру плавлення (біля 1100°C) та високі значення ударної в'язкості і твердості (45...50 HRC). Для досліджень використовували порошки заліза та СФЗ, які змішували, пресували за тиску 400...800 МПа та спікали за температур 1100...1250°C протягом 30...60 хв.

Дослідження показали, що максимальна щільність матеріалів досягається тоді, коли спікання відбувається у присутності рідкої фази, яку утворює СФЗ при плавленні. При цьому необхідно створювати умови спікання, які б попереджували утворення газової пористості, зумовленої тиском газу у закритих порах, який протидіє капілярним силам – рушійним силам спікання (рис. 1, 1). Отриманню максимальної щільності і, тим самим, максимальним механічним властивостям, сприяє спікання у вакуумі або просочуванням (рис. 1, 2).

Отримання максимальної щільності є не єдиною умовою отримання матеріалів з високими механічними характеристиками. У цьому відношенні бажаним є формування в кінцевих виробках каркасних структур, які утворюються за умови плавлення СФЗ та проникнення розплаву між частинками заліза. При цьому відбувається взаємодія між ними та утворення перехідних прошарків, які зменшують градієнт властивостей на межі фаз, що, як відомо, сприяє збільшенню характеристик міцності.

Було встановлено, що утворення каркасних структур без наявності пор сприяє отриманню твердості (54...57 HRC), яка перевищує середню твердість вихідних складових.

Таким чином, змінюючи склад та умови отримання порошкових конструкційних матеріалів можна отримувати їх з високими механічними характеристиками. Обов'язковою умовою є утворення при спіканні рідкої фази та каркасних структур в кінцевому матеріалі.

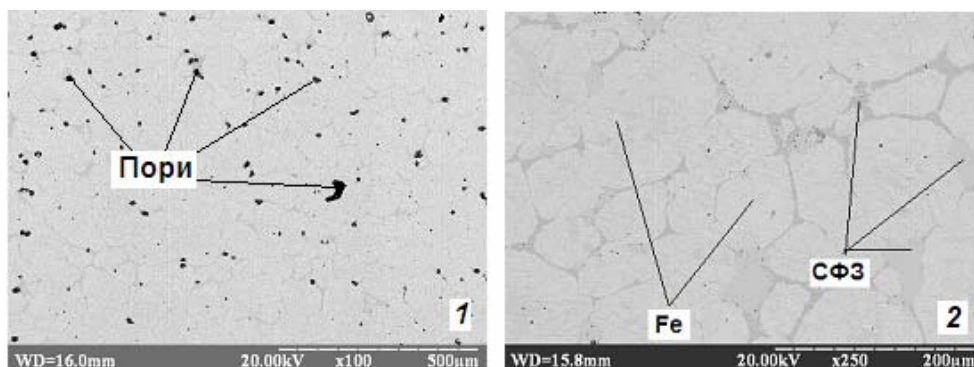


Рис. 1 – Структура спечених композиційних матеріалів

Література:

1. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. – Киев: Вища школа, 1989. – 415 с.
2. Дубовий О.М., Степанчук А.М. Технология напыления покрытий. Підручник. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2007. – 235 с.

Дуригіна З.А., Щербовських Н.В.
(НУЛП, м. Львів)

**ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ З ОПЛАВЛЕННЯМ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОВЕРХНІ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**
zduriagina@ukr.net

Відомо, що лазерне легування є одним з високоефективних, екологічно безпечних технологічних процесів обробки матеріалів для забезпечення необхідних функціональних властивостей поверхневих шарів сталей [1]. Ця технологія забезпечує формування в локальних об'ємах однорідних за складом та дрібнозернистих за будовою зон з підвищеною твердістю, корозійною стійкістю та зносостійкістю [2]. Залежно від структурного класу основного матеріалу, складу насичувальних сумішей та режимів обробки, на поверхні формуються шари з наперед заданою структурою та властивостями [3]. Такий метод інженерії поверхні забезпечує відсутність загальної деформації та короблення деталей із складним профілем. Крім того, існує можливість автоматизації обробки, а відтепер і можливість обробки поверхонь складної конфігурації, включаючи отвори, завдяки оснащенню лазерів маніпулятором із 6-ма ступенями вільності [4].

Аналіз характеру структуроутворення після лазерного легування із обмазок різного складу [3, 4], здійсненого на лазерних установках різної вихідної потужності (800 Вт; 6,3 кВт) за різними режимами [3, 4] показав, що суттєве підвищення довговічності покриттів досягається за умови, коли співвідношення розмірів зерен пластичної матриці до наноструктурованих конгломератів вторинних фаз складає 3,6 (сталь 12X18H10T) та 3,8 (сталь 12X17T). Не менш важливим фактором є також послідовність та глибина підшарів створеної у такий спосіб градієнтної структури композитного типу.

Література:

1. Kwok C.T. Laser surface modification of UNS S31603 stainless steel. Part I: microstructures and corrosion characteristics / C.T. Kwok, F.T. Cheng, H.C. Man // Materials Science and Engineering. – 2000. – А 290. – Р. 55...73.
2. Дурягіна З.А. Фізика та хімія поверхні: Монографія. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 208 с.
3. Вплив лазерного мікролегування ніобієм на зносотривкість нержавіючих сталей / В.В. Широков, Х.Б. Василів, З.А. Дурягіна [та ін.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – № 4. – С. 12...18.
4. Дурягіна З.А. Вплив лазерного легування з порошкових сумішей на структуру та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т / З.А. Дурягіна, Н.В. Щербовських, С.А. Беспалов // Металлофізика и новейшие технологии.– Т. 3. – №7. – 2011. – С.969...975.

Евдокименко В.О., Прилуцкий М.И.

(НТУУ «КПИ» г. Киев)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ В СТАЛЕЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

vika241192@ukr.net

В настоящее время для литейного производства одной из проблем является снижение удельных расходов шихтовых материалов, энергии на единицу произведенной продукции. Производство отливок из сплавов на основе железа связано с окружающей средой. В литейных цехах машиностроительных предприятий в качестве плавильных агрегатов используются индукционные тигельные и электродуговые печи переменного тока (ДСП). В литейном производстве ДСП используют емкостью: 0,5; 1,5; 3; 5; 6; 12; 20; 25 тонн. Эти печи характерны большим выбросом газов и пыли; в период расплавления используются газокислородные горелки, подрезка шихты кислородом и другие дополнительные источники химического тепла, загрязняющие окружающую среду парниковыми газами и создающие в рабочем пространстве печи окислительную атмосферу. В настоящее время разработаны дуговые печи на постоянном токе. Разработка дуговой печи постоянного тока (ДППТ) позволила: десятикратное уменьшение пылегазовыбросов и не превышающий во все периоды плавки санитарные нормы уровень шума на рабочей площадке. Также достигаются снижение расхода графитированных электродов, уменьшение угара металла ($\leq 1\%$), расхода ферросплавов (на 60...80%), уровня колебаний электрического режима (не выше 20% в начале плавки и 5% в последующие периоды плавления).

Дуговые печи как на переменном, так и на постоянном токе имеют аналогичные конструкторские элементы, одинаковые схемы загрузки шихты и разлива металла, используют одни и те же огнеупорные материалы, позволяют применять одни и те же технологические процессы плавления и доводки металла. Но также имеются и различия между ними в компоновке конструкции печей, характере ведения плавки и в составе оборудования, что вы-

звано различием в характере физических процессов в дугах постоянного и переменного тока, а также различием в характере взаимодействия электромагнитного поля постоянного и переменного тока с жидкометаллической ванной. Особенностью ДППТ является наличие одного установленного на оси печи графитированного электрода, подключенного к минусам источников электропитания, и нескольких электродов, расположенных в подине печи и подключенных к плюсу управляемого тиристорного преобразователя. Это позволяет выполнять печи ДППТ более газоплотными, чем ДСП, а также обеспечивает более равномерный прогрев шихты и футеровки по периметру ванны (без локальных перегревов футеровки напротив электродов и более низкой скорости плавления на откосах в промежутках между электродами, как это имеет место в ДСП).

Печь оборудована двумя автономными источниками электропитания, состоящими из силового трансформатора, сетевого реактора, тиристорного преобразователя, коммутатора для последовательно-параллельного переключения тиристорных преобразователей, сухих сглаживающих реакторов, установленных в цепи постоянного тока. Несмотря на большой набор специального оборудования, не потребовалось значительных дополнительных площадей в связи с компактной расстановкой и небольшими габаритами силовых модулей источника электропитания.

Дуговые печи постоянного тока структурно оптимизированы по быстродействию, так как преобразователь постоянного тока оснащен быстродействующим электронным регулятором с постоянной времени 6...10 мс, который обеспечивает высокую стабильность и независимую тонкую регулировку токового режима в широком диапазоне изменения напряжения печной дуги. Также в систему управления печью включен регулятор, обеспечивающий поддержание заданного уровня напряжения дуги путем осевого перемещения сводового электрода. В сталеплавильных печах постоянного тока используется «медленный» регулятор, который используется в качестве управляющего воздействия только перемещение электродов печи.

Для обеспечения более высокой стабильности электрического режима, по сравнению с печами ДСП, имеется два независимо работающих регуляторов тока и напряжения печной дуги на печах ДППТ.

Выбор оборудования в цепи постоянного и переменного тока в сочетании с параметрами трансформатора и преобразователя обеспечил высокую стабильность дуги, независимо от качества шихты и периода плавления, а также минимальный уровень помех, генерируемых в питающую сеть.

Силовые трансформаторы имеют два переключателя: один для ступеней напряжения под нагрузкой и второй с отключением трансформатора от сети при переключениях. В сочетании с устройством последовательно-параллельного переключения тиристорных преобразователей источник электропитания имеет 94 ступени напряжения в интервале 100...1200 В. Тиристорный преобразователь, собранный по двенадцатипульсной схеме, позволяет плавно изменять и стабилизировать силу тока в пределах 0...20 и 0...10 кА при напряжении соответственно 100...600 и 100...1200 В. Охлажда-

дение тиристорного преобразователя проводится дистиллированной водой, циркулирующей во внутреннем контуре теплообменника, который охлаждается технической водой.

Тиристорные преобразователи подключены к двум металлическим подовым электродам, водяные каналы охлаждения которых вынесены за пределы кожуха печи. Это в сочетании с системами непрерывного автоматического контроля за состоянием и тепловой нагрузкой подовых электродов обеспечивает надежность и безопасность эксплуатации печи. Подовый электрод состоит из стальной головки, контактирующей с жидким металлом, и медного водоохлаждаемого корпуса. Благодаря способности подовых электродов самовосстанавливаться в процессе плавки и возможности горячих межплавочных ремонтов подины, ресурс непрерывной работы подовых электродов составляет 2...3 тысячи плавов, после чего подовый электрод проходит техническое обслуживание и устанавливается на печь для повторной эксплуатации. Тепловые нагрузки и геометрия подового электрода рассчитываются по специальной методике, разработанной в компании. Автономное питание подовых электродов в сочетании с целенаправленной их расстановкой и специальными режимами ведения плавки позволило обеспечить управляемое трехмерное интенсивное перемешивание расплава без применения специальных устройств. Отказ любого из источников электропитания несколько увеличивает продолжительность плавления, но не приводит к остановке печи.

Печь имеет выкатную ванну с небольшим зазором между тележкой и люлькой, что привело к изменению конфигурации хвостовой части подовых электродов. Для улучшения газоплотности печи изготовили уплотненный экономайзер.

Футеровка подины выполняется, как и на ДСП, методом кирпичной кладки с набивными слоем толщиной 240 мм из хромомagneзитового порошка. В дуговой печи постоянного тока для установки подовых электродов в кирпичной кладке выполнены колодцы. Установка на печь водоохлаждаемых панелей и свода, а также отработка энергетического режима будут способствовать увеличению стойкости футеровки.

Важным технологическим преимуществом печей ДППТ является эффективное электромагнитное перемешивание ванны металла проходящим через нее постоянным током. В печах емкостью от 0,5 до 25 тонн скорость движения жидкого металла в центральной части ванны составляет величины порядка 0,12...0,35 м/с, т.е. реализуется режимы развитых турбулентных течений, при которых в ванне обеспечивается эффективное выравнивание полей температуры и концентрации вводимых в металл присадок. Использование электромагнитного перемешивания, наряду с созданием в печном пространстве восстановительной атмосферы, позволяет экономней расходовать ферросплавы. Выбранный диапазон скоростей и направления перемешивания позволяет быстро (в течение нескольких минут) растворять ферросплавы (включая тугоплавкие, например, ферровольфрам) и шлакообразующие; при этом получают шлаки с заданными свойствами.

Угар легируючих елементів в процесі плавки практично не проходить.

В процесі експлуатації печі постійного струму відзначається також різке зниження угара графітованих електродів. В литейних цехах на печах ДСП удельний витрат графітованих електродів становить не менше 6 кг на тону виплавленої сталі, в печах ДППТ цей витрат не перевищує 1,5 кг на тону.

Ряд факторів, погіршуючих експлуатаційні параметри печі постійного струму, задає предельно можливий з мінімальною тривалістю плавки цикл 3,5...4 год. В цих умовах удельний витрат електроенергії на розплавлення становить 480 (кВт·год)/т розплаву.

Плавки на дугової печі постійного струму з максимальною навантаженням до 12 МВт дозволили проводити розплавлення шихти за 60...70 хв; при цьому витрат енергії становив 420...435 (кВт·год)/т розплаву.

Роботи по переплаву в ДППТ високолегірованого скрапа показали, що ступінь усвоєння в ній легируючих елементів значно вище, ніж в печі змінного струму.

Перехід ДСП на печі ДППТ (живлення постійним струмом) економія графітованих електродів досягла 4,5 кг на тону розплаву.

Вимірювання рівня шуму в процесі повного циклу плавки (з моменту включення печей) на відстані 5 м від робочого вікна при роботі поруч стоячих 25-т дугової печі постійного струму. Було відзначено зниження рівня звукового тиску до санітарних норм в усі періоди плавки. При хорошій герметизації і стабільності тиску в печах ДППТ, крім зниження шуму, ліквідується підсос повітря в робоче простір, завдяки чому забезпечується низький по порівнянню з печами ДСП угар шихти в період розплавлення (не більше 3% в печах ДППТ і не менше 9...10% в печах ДСП), знижуються пилегазовивброси по порівнянню з печами ДСП.

На основі літературних даних, використання ДППТ в литейному виробництві гарантує:

- зниження угара легируючих елементів;
- різке покращення екології за рахунок зниження в 7...10 раз пилегазовивбросів;
- зниження рівня шуму до санітарних норм;
- економія шихти і графітованих електродів при роботі цих печей дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати, причому додаткові витрати на перетворювач постійного струму окупаються в процесі першого року експлуатації;
- при встановленні дугових печей постійного струму суттєво знижуються вимоги до живильної енергосистеми.

Література:

1. Пат. 2216883 РФ, МПК Н 02 М 7/162, Н 05 В 7/144. Джерело живлення дугової печі постійного струму / С.М. Нехамин, Г.А. Фарнасов, А.К. Филиппов і др. – Опубл. 20.11.2003. – Бюл. №. 32.

2. Пат. 2324281 РФ, МПК Н 02 М 7/02, Н 05 В 7/144, Н 02 М 7/162. Источник питания постоянного тока для дуговой печи (Его варианты) / С.М. Нехамин, Г.М. Мустафа и др. – Опубл. 22.12.2006. – Бюл. №. 32.

3. Гуткин В.Б. и др. Особенности построения силовой схемы и системы управления источника питания дуговой сталеплавильной печи постоянного тока / Дуговые сталеплавильные электропечи: Сб. научн. трудов ВНИИ-ЭТО.– М.: Энергоатомиздат, 1991. – С. 116...125.

4. А.К. Филиппов, М.М. Крутянский, Г.А. Фарнасов. Использование электропечей постоянного тока в металлургии // Сталь. 2002.–№1.– С.33...41.

5. Сталь на рубеже столетий // Ю.С.Карабасок, Л.Н. Белянчиков, Д.И. Бородин и др. / Под ред. Ю.С. Карабасова.– М.: «МИСИС», 2001.–С.663.

Жеманюк П.Д., Ключихин В.В., Лысенко Н.А., Наумик В.В.

(АО "Мотор Сич", ЗНТУ, г. Запорозьє)

**ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО
СПЛАВА ЖСЗДК-ВИ**

naumik@zntu.edu.ua

Для получения качественных литых деталей из жаропрочных никелевых сплавов для современного авиастроения необходимо постоянно совершенствовать технологические и металлургические процессы, обеспечивающие соответствующий уровень эксплуатационных свойств материалов и изделий.

Исследовали состав, структуру и свойства литых образцов из жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК-ВИ, полученных с применением предварительной термовременной обработки расплава (ТВО), модифицирования ультрадисперсными частицами (УДП) карбонитрида титана $Ti[Ti(C,N)]$ и последующего горячего изостатического прессования (ГИП) в различных комбинациях. Исследования проводили в сравнении с образцами, полученными по серийной технологии.

Все опытные образцы подвергали гомогенизации при $1210 \pm 10^\circ C$ в течение 4 часов в вакууме.

Содержание элементов в исследуемых образцах, в основном, соответствовало требованиям ОСТ 1.90126-85. За исключением образцов, модифицированных $Ti[Ti(C,N)]$, в которых содержание титана примерно на 11% превышало уровень требований ОСТ.

Исследовали макроструктуру образцов после химического травления в реактиве, состоящем из 80% HCl и 20% H₂O₂. Установлено, что проведение термовременной обработки расплава (ТВО) способствует некоторому укрупнению макрозерна, а модифицирование карбонитридными частицами $Ti(C,N)$ приводит к измельчению зерна.

Механические и жаропрочные свойства, определённые на отдельно отлитых пальчиковых образцах (\varnothing и h 12 мм), удовлетворительные и отвечают требованиям ОСТ 1.90126-85.

Наиболее благоприятное сочетание прочностных (σ_B) и пластических (δ , Ψ , КСЧ) характеристик, а также длительной прочности при температуре 850°C и нагрузке 35 кгс/мм^2 , характеризующееся стабильностью результатов испытаний, получено на образцах, модифицированных Ti(C,N).

Микроструктура образцов, изготовленных по серийной технологии, а также после модифицирования частицами Ti(C,N), как до, так и после газостатирования, удовлетворительная для сплава ЖСЗДК-ВИ в нормально термобработанном состоянии.

В материале образцов, модифицированных УДП карбонитрида титана, обнаружены включения нитридов и карбонитридов, размеры которых составляют $3 \dots 12 \text{ мкм}$. В немодифицированном металле нитридные включения встречаются редко, и размер их не превышает 2 мкм .

В образцах, полученных без проведения операции газостатирования, обнаружены микропоры, а также усадочные рыхлоты размером до 30 мкм .

Проведение операции горячего изостатического прессования способствует «залечиванию» усадочных дефектов. В структуре исследованных лопаток после ГИП микропоры и рыхлоты практически отсутствуют.

В серийных образцах карбиды типа МС выделяются, в основном, в виде дискретных глобулярных частиц с наличием пластин эвтектических карбидов типа M_6C размером до 40 мкм , располагающихся преимущественно на границах зерен и в междендритных пространствах.

Проведение термовременной обработки расплава при температуре 1850°C в течение 5 минут и в особенности модифицирования карбонитридами титана способствует дроблению карбидных пластин и равномерному их распределению в объеме металла.

Расстояние между осями дендритов второго порядка в образцах, отлитых по серийной технологии, а также с проведением ТВО примерно на 20% больше, чем в модифицированных образцах.

Жижкина Н.А., Рюдигер Бер, Гутько Ю.И.

*(Восточноукраинский национальный университет имени Владимира
Даля, г. Луганск,*

Магдебургский университет имени Отто-фон-Гюрике, Германия)

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА
МАССИВНЫХ ОТЛИВОК ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИДКИЙ
МЕТАЛЛ**

Известно, что свойства металла зависят как от сил межатомного взаимодействия его химических компонентов, так и от наличия в нем структурных несовершенств. Одновременно воздействовать на размер первичных зерен, морфологию металлической основы, упрочняющих фаз и неметаллических включений, а, следовательно, и на уровень механических и специальных свойств отливки, возможно путем изменения соотношения количества графитизирующих и карбидообразующих элементов в металле при его приго-

товлени. Такое воздействие включает легирование, модифицирование и рафинирование и зависит от качества и состава базового расплава.

Легирование горячего металла заключается во введении в него ферросплавов непосредственно в печи или в процессе выпуска плавки в ковш. Процесс усвоения горячим металлом легирующих добавок зависит от агрегатного их состояния, способа ввода, скорости нагрева и растворения таких материалов, интенсивности тепло- и массопереноса как во всем объеме расплава, так и на границе расплав-ферросплав.

Исследования [1] показали, что применение лазерного легирования путем наплавления на поверхности изделия из углеродистого или низколегированного материала тонкого слоя сложного химического состава, представляющего собой закаленную зону высокодисперсного кристаллического строения, что повышает износо-, тепло-, коррозионную стойкость валков. Вместе с тем проведение такой обработки требует строгого соблюдения режимов во избежание неравномерного распределения легирующих компонентов и контроля содержания примесей в шихтовых материалах.

Вместе с тем анализ качества массивных валков [2] показал, что зачастую на рабочей поверхности таких изделий наблюдается неравномерность свойств, что связано с исходным состоянием расплава перед кристаллизацией. Установлено, что после расплавления всех компонентов шихты и возникновения однофазной, макроскопически однородной жидкости, в ней продолжают осуществляться микроскопические превращения, что обеспечивает достаточную устойчивость неравновесному состоянию расплава. Ее степень может быть изменена путем внешних воздействий во время внепечной обработки валкового расплава: вакуумирования, магнитной и электрогидроимпульсной обработки, продувки газами, модифицирования различными добавками и другое. Такая обработка, осуществляемая с учетом изменения литейных свойств материала, обеспечивает улучшение обрабатываемости отливок, получение более плотной и равномерной структуры рабочего слоя и сердцевины валков, повышение их механических и эксплуатационных свойств. Наиболее эффективным методом для одновременного повышения прочности, термо- и износостойкости прокатных валков является модифицирование. В связи с этим значительный интерес представляет изучение процесса модифицирования металла массивных изделий. Поэтому работа в этом направлении продолжается.

Литература:

1. Голдинов Е.А. Поверхностное легирование сталей с целью увеличения ресурса работы деталей судовых дизелей // 10 Нижегородская сессия молодых ученых: междунар. науч.-техн. конф., 2005 г.: тезисы докл. – Н.Новгород, 2005. – С. 5...6.
2. Жижкина Н.А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: монография / Н.А. Жижкина. – Луганск: «Нюлидж», 2011. – 167 с.

Зеленюк Ю.О., Шаломєєв В.А., Цивірко Е.І.

(ЗНТУ, м.Запоріжжя)

КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ЛИТОГО МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ-5 З ГАФНІЄМ

Збільшення ресурсу роботи деталей з магнієвих сплавів для авіа- та ракетодвигунів, електроніки та зменшення витрат на їх ремонт є актуальною задачею. Такі вироби експлуатуються в різних середовищах і умовах навантаження, а їх корозійна стійкість вивчена недостатньо. Дослідження корозійних властивостей магнієвих сплавів потребує проведення спеціальних експериментів.

В даній роботі вивчали вплив гафнію на структурні складові литого магнієвого сплаву МЛ-5 та його корозійну стійкість.

Корозійні випробування проводили в водних розчинах з вмістом 0,7; 0,9; 3,0% NaCl при температурі $36 \pm 1,0^\circ\text{C}$, стабільність якої забезпечувалась ультратермостатом УТ-15. Через 10, 20, 30 діб зразки виймали з розчину. Визначали середню швидкість корозії зразків для кожного варіанту випробування, використовуючи вимірювання на базі 3 зразків.

Дослідження зламів металу зі зростаючим вмістом гафнію (0,05%, 0,1% і 1,0%) показує, що введення в сплав цього елемента дає суттєве подрібнення макроструктури.

Металографічні дослідження показали, що структура стандартного сплаву МЛ-5 складалася з δ -твердого розчину, інтерметалідів (γ -фази $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$) та евтектики типу $\delta + \gamma(\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12})$, яка розташовувалася по межах зерен. При додаванні гафнію у сплаві МЛ-5 зменшувалися кількість евтектики, розмір мікрозерна та збільшується середній розмір, індекс та об'ємний відсоток вмісту інтерметалідів.

Встановили, що в зразках із сплаву МЛ-5 розміри інтерметалідів не перевищували 15 мкм. При збільшенні вмісту гафнію з 0,05 до 1,0% (мас.) середній розмір інтерметалідів змінювався від 4,6 до 5,3 мкм (середній розмір інтерметалідів стандартного сплаву складав 3,2 мкм). В сплаві при вмісті 0,05% (мас.) Hf в порівнянні із стандартним складом доля інтерметалідів з розмірами менше 4 мкм збільшувалася майже в 2 рази. В той же час з підвищенням концентрації гафнію у сплаві спостерігалось збільшення кількості інтерметалідів з розмірами від 8 до 15 мкм.

Порівняльний аналіз швидкості корозії зразків вивчених варіантів магнієвого сплаву показав, що з підвищенням вмісту гафнію в сплаві МЛ-5 з 0 до 0,05% (мас.) швидкість корозії в усіх розчинах зменшувалася у 2,5 рази. Збільшення вмісту Hf до 0,1% (мас.) помітно не змінювало швидкість корозії. Спостерігається певна залежність між кількістю, хімічним складом інтерметалідної фази та швидкістю корозії. Так, зменшення швидкості корозії можна пов'язати з суттєвою зміною хімічного складу інтерметалідів, які у гальванічній парі δ -твердий розчин – інтерметалідна фаза відіграють роль катода. Збільшення кількості інтерметалідної фази з гафнієм зменшує шкідливий вплив алюмінію в сплаві на швидкість корозії.

На швидкість корозії литих зразків із магнієвого сплаву МЛ-5 в водних розчинах хлористого натрію суттєво впливають його структурні складові, які обумовлені хімічним складом металу.

Введення гафнію в сплав МЛ-5 помітно зменшувало його швидкість корозії в водних розчинах хлористого натрію, за рахунок зміни складу, розмірів та кількості інтерметалідів.

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

(НМетАУ, г. Днепрпетровск)

ЛИКВАЦИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕРМООБРАБОТАННЫХ ВАЛКОВЫХ ЧУГУНАХ

maimur@rambler.ru

Целью настоящего исследования было изучение влияния термической обработки (двойного отжига по режиму: первая стадия – температура 925°С и выдержка 1,0 ч, вторая – температура 600°С и выдержка 2 ч) на ликвацию легирующих элементов в белом и половинчатом валковых чугунах. Степень ликвации каждого элемента определяли по процентному соотношению его концентраций в наиболее и наименее обогащенных зонах. Однородность распределения элемента в структурной составляющей оценивали по коэффициенту изменчивости δ .

В литом состоянии в белом валковом чугуне легирующие элементы в структурных составляющих располагались неравномерно. Повышенное содержание марганца было обнаружено в цементите. Максимальная степень ликвации марганца в этом чугуне была равна 140%. Распределение марганца в этом же чугуне после двойного отжига было более равномерным. Коэффициент изменчивости δ содержания марганца в перлите уменьшался с 0,13 до 0,10, что было связано, в частности, с изменением дисперсности перлита после термической обработки.

Исследование распределения кремния в белом чугуне в литом состоянии показало также неравномерное его распределение. Максимальная степень ликвации кремния была равна 320%. В эвтектическом цементите кремния почти не было, на периферии бывших участков аустенита в ферритной кайме концентрация кремния была повышенной, тогда как в осевой зоне дендритной ветви кремния было ~ в 1,5 раза меньше. После термической обработки этого чугуна распределение кремния было более равномерным: коэффициент δ уменьшался с 0,25 до 0,19 в перлите и с 0,56 до 0,42 – в цементите, что, по-видимому, было связано в основном с полным устранением ферритной каймы вокруг перлита в процессе термической обработки.

Исследование ликвации никеля показало максимальную степень его ликвации в исходном литом чугуне – 160%. После термической обработки коэффициент изменчивости δ содержания никеля в перлите снижался с 0,23 до 0,19, в цементите – с 0,40 до 0,33.

Исследование ликвации легирующих элементов в половинчатом валковом чугуне показало следующее. Так же, как в белом валковом чугуне, леги-

руючі елементи в структурних складаючих половинчатого чугуна в литому стані і після термічної обробки розподілялись нерівномірно. Підвищене вміст марганцю було в цементиті (максимальна ступінь ликвації була такою ж, як і в білому чугуні – 140%). Після термічної обробки коефіцієнт змінливості δ розподілення марганцю в перліті зменшувався незначально – з 0,11 до 0,08. Вміст кремнію в половинчатому чугуні було більшим, тому максимальна ступінь його ликвації порівняно з білим чугуном також була більшою – 1280%. Після термічної обробки цей досліджуваний показник зменшився до 800%. Крім того, різко зменшився коефіцієнт δ вмісту кремнію в цементиті – з 0,59 до 0,31, в перліті ж зміни були не настільки значущими – з 0,19 до 0,13. Дослідження розподілення нікелю показало, що в основному він концентрувався в перліті, в цементиті його вміст був невеликим. Максимальна ступінь ликвації нікелю в половинчатому чугуні була 250%, що пов'язано з великим його вмістом в складі цього чугуна порівняно з білим чугуном. Після термічної обробки коефіцієнт δ розподілення нікелю в перліті зменшувався з 0,15 до 0,09.

Таким чином, проведені дослідження показали, що з збільшенням кількості легируючих елементів в складі валкових чугунів ступінь ликвації їх відповідно збільшувалась, а термічна обробка викликала в них більш рівномірне внутріфазове розподілення легируючих елементів (марганцю, кремнію і нікелю).

Івашина М.І., Бачинський В.Д., Сиропоршнєв Л.М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ПЕЧІ ТА ЧАСУ ВИТРИМКИ В ПЕЧІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДІННЯ СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ

Характеристики твердіння зразків визначали на стандартних зразках «вісімках» з використанням приладу Віка. Виготовляли суміші з вмістом зв'язувального 10 об. % та 20 об. %. В якості зв'язувального використовували 30%-розчин пінополістиролу в живичному скипидарі.

Спикання зразків проводили при температурах 150, 200, 250, 300°C при різній витримці в печі. Результати наведені в табл. 1.

Як видно з представлених експериментальних даних, при витримці зразків в печі протягом зазначеного часу при температурах 150, 200, 250°C величина проникнення в зразок зменшується, тобто збільшується твердість зразка. При температурі витримки 150°C зразки мають найбільші значення величини проникнення (4,5...9 мм в залежності від часу витримки в печі). При температурі 200°C для суміші з вмістом зв'язувального 20 об. % досягається мінімальне значення проникнення при витримці протягом 45 хв. – 2,0 мм. Також мінімальне значення (2 мм) спостерігається і при температурі 250°C. При температурі 300°C проникність спочатку зменшується для суміші з вмістом зв'язувального 10 об. % до 3,1 мм, для 20%-ї суміші до 2,5 мм, а при ви-

тримці в печі більше 15 хв. починає стрімко збільшуватися до 4,1 мм та 3,5 мм відповідно, що призводить до зменшення твердості зразків. Збільшення проникності пояснюється тим, що при таких умовах відбувається термодеструкція пінополістиролового зв'язувального. При цьому з печі виділяються досить токсичні газоподібні речовини. При температурі 150°C значення проникності в зразок голки найбільші. Дана температура, як показали дані, не достатня для затвердіння зв'язувального.

Таблиця 1 – Вплив температури печі та часу витримки на характер твердіння зразків

№ експеримента	Температура печі, °С	Час витримки в печі, хв	Проникнення голкою, мм	
			суміш з вмістом зв'язувального 10 об. %	суміш з вмістом зв'язувального 20 об. %
1	150	4	8,0	9,0
		8	5,8	6,0
		15	5,0	5,0
		45	4,5	4,0
2	200	4	6,8	7,0
		8	5,0	3,5
		15	4,0	3,0
		45	3,0	2,0
3	250	4	5,0	6,0
		8	2,5	3,2
		15	2,1	2,6
		45	2,0	2,0
4	300	4	4,2	4,2
		8	3,2	3,0
		15	3,1	2,5
		45	4,1	3,5

Таким чином встановлено, що стрижнева суміш при витримці в печі протягом 45 хв. при температурах 200 та 250°C має найкращі характеристики твердіння.

Казарин Д.А.

(НТУУ «КПІ», г. Київ)

ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОТИТАНА ИЗ КОНЦЕНТРАТА

Электрошлаковая плавка с использованием нерасходуемых электродов для ведения электрошлакового процесса хорошо известна и широко применяется для нагрева или плавления контактирующего с жидким шлаком металла, а также для переработки различных металлосодержащих отходов [1].

Наряду с этим электрошлаковая плавка может быть использована и для выплавки металлопродукции непосредственно из исходного минерального сырья (например, для выплавки ферротитана из ильменитового концентрата) подобно тому, как это осуществляется в рудно-термических печах, предназначенных для производства ферросплавов.

Из работы [2] известно, что и рудно-термические печи (РТП), и электрошлаковые агрегаты относятся к группе электродуговых печей сопротивления. Вследствие меньших размеров, печи ЭШВ проигрывают рудно-термическим по энергетическим затратам, но вместе с тем имеют и ряд преимуществ. Электрошлаковые печи более мобильны и могут использоваться для плавки разнообразного сырья, в то время как РТП чаще всего предназначены для производства определенного ферросплава из сырья конкретного месторождения. Еще одним важным преимуществом печей ЭШВ является возможность гибкого варьирования технологическим процессом, что дает возможность увеличить степень извлечения требуемого компонента из исходного материала в получаемый металл, т.е. уменьшение потерь важных элементов.

Как уже было отмечено выше, электрошлаковая плавка может использоваться для получения ферротитана из ильменитового концентрата. При этом следует отметить, что температура плавления ($1320...1350^{\circ}\text{C}$) и вязкость ильменита близки таковым некоторым шлаков, применяемых в ЭШТ, поэтому плавка его в режиме электросопротивления в целом не вызывает никаких затруднений. Здесь важным преимуществом электрошлаковой технологии является то, что она позволяет получить 70%-й ферротитан, более востребованный в современной промышленности, и снизить расход флюсующих. Также при получении с помощью ЭШВ 70%-го ферротитана в случае восстановления 80% титана, содержащегося в концентрате, остаточное содержание FeO может составлять 15...18%. Это значительно облегчает проведение плавки, в том числе сокращает ее время.

Проведенные эксперименты показали, что с помощью электрошлаковой технологии можно получать из ильменитового концентрата 70%-й ферротитан, который соответствует техническим условиям на данный продукт [3]. В настоящее время ведутся работы по корректировке и оптимизации данной технологии.

Литература:

1. М.Л. Жадкевич, Ф.К. Биктагиров, В.А. Валяльщикова, А.П. Игнатов, А.В. Гнатушенко. Применение электрошлаковой плавки для производства ферросплавов из минерального сырья. // СЭМ. – 2005. – №1. – С. 12...16.

2. Электротермические процессы химической технологии / Я.Б. Данцис, В.А. Ершов, Г.М. Жилов и др. – Л.: Химия, 1984. – 464 с.

3. Застосування електрошлакової технології для виробництва ферротитану / М.П. Волкотруб, М.І. Прилуцький, Д.А. Казарін // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 18 квітня 2012 р). – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – С. 109...114.

Карпенко В.М.

(БГАТУ, г. Минск)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА
ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ**

emkarpenko@mail.ru

В смесеприготовительных отделениях отечественных литейных предприятий в настоящее время практически везде используются катковые смесители (бегуны), не обеспечивающие требуемой эффективности перемешивания. Предварительное охлаждение и увлажнение отработанной смеси не применяется, а автоматический контроль влажности и соответственно обеспечение стабильности насыпного веса формовочной смеси отсутствуют.

Насколько важно поддерживать стабильную влажность смеси, можно понять из оценки зависимости насыпного веса смеси от её влажности. В области влажности более 4%, характерной для работы многих отечественных литейных предприятий, насыпной вес изменяется не очень сильно при довольно значительных колебаниях влажности. Но в области влажности 3,0...3,3% – оптимальной с позиций минимизации воды в смеси – даже небольшие отклонения влажности от заданной приводят к очень значительным изменениям насыпного веса формовочной смеси. Эта особенность требует наличия совершенных систем автоматического поддержания заданного насыпного веса путем автоматического регулирования влажности смеси в очень узких пределах.

Оборудование для смесеприготовления является чрезвычайно важным моментом при комплектации литейных цехов. Смеситель формовочного материала является центральным узлом каждой установки для подготовки смеси. В первую очередь смеситель выполняет следующие операции в процессе подготовки смеси: оптимальная добавка воды и освежающих добавок; смешивание и однородность всех компонентов смеси; диспергирование бентонита и равномерное покрытие песчаных зерен бентонитом.

В случае использования для смесеприготовления традиционных смесителей типа бегунов, в смеси происходит относительно медленное распределение и усвоение воды бентонитом из-за низкой эффективности смешивания. Влажность смеси увеличивается постепенно до конца процесса смешивания. Из-за этого не достигается необходимая степень диспергирования бентонита, а вода им не полностью усваивается, поскольку время перемешивания в промышленных бегунах обычно составляет 2...5 минут. В этом легко убедиться, выполняя тестовые испытания смеси в соответствии с требованием ГОСТа 28177-89, где время перемешивания смеси задано 20 минут (в течение всего этого времени происходит медленное увеличение прочности смеси).

В вихревом смесителе KUNKEL-WAGNER непосредственно после загрузки горелой земли начинается высокоэффективная фаза смешивания. Уже в начале цикла смешивания вода быстро усваивается бентонитом благодаря интенсивному перемешиванию вихревой головкой. Это происходит в тече-

ние первых 45...50 секунд, благодаря чему обеспечивается высокое диспергирование бентонита и равномерное покрытие им песчаных зерен. В процессе смешивания осуществляется непрерывный контроль влажности и на 50-й секунде автоматически вводится корректирующая добавка воды, количество которой рассчитывается процессором на основе данных текущего контроля влажности в каждом цикле. Показатели влажности, уплотняемости и прочности смеси отслеживаются и регулируются автоматической системой управления в режиме реального времени. Это позволяет обеспечить стабильную влажность и насыпной вес формовочной смеси.

Полный цикл смесеподготовки составляет 130 секунд, а полезное время смешивания – не более 100 секунд. Столь короткое время смесеподготовки обеспечивается конструкцией смесителя.

Такая технология подготовки формовочной смеси позволяет максимально полно использовать возможности современных многокомпонентных формовочных бентонитовых связующих, предназначенных для получения качественных отливок с высокой чистотой поверхности.

**Карпенко В.М., Карпенко М.И., Хомец У.С.
(БГАТУ, г. Минск, ОАО «ГЛЗ «Центролит»»)**

**ПРОИЗВОДСТВО ТЕРМООБРАБАТЫВАЕМЫХ ЧУГУНОВ ДЛЯ
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН
emkarpenko@mail.ru**

В последние годы на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения Республики Беларусь более широко стали использоваться высокопрочные чугуны для термообрабатываемых литых деталей ответственного назначения. Они внедряются для производства отливок, которые раньше изготавливались из модифицированных серых чугунов марок СЧ25 и СЧ30, ковких чугунов марок КЧ35-10, КЧ37-12 и АЧК-1 и углеродистых сталей марок 30Л и 35Л.

Для выплавки чугуна и стали в основном стали использоваться индукционные печи, в то время как раньше преобладали технологические процессы плавки в коксовых вагранках и дуплекс-процессами, включающими вагранку и дуговую электропечь. Для повышения дисперсности структуры чугуна в отливках, механических и дисперсионных свойств в качестве необходимых операций используются высокий перегрев расплава (до 1470...1500°C), операции внепечной обработки (комплексного модифицирования и микролегирования) и быстрой заливки литниковых форм.

Значительный объем отливок производится с использованием комплексного модификатора, содержащего 25...40% отсева модификатора ФСМг-7 по ТУ 14-5-134-86, 25...40% ферросилиция марки FeSi75A11 и измельченный о сталь графит. Его изготавливают в литейном цехе высокопрочного чугуна завода литья и нормалей РУП «Гомсельмаш», где и используют при производстве деталей кормоуборочных комбайнов, которые раньше изготавливались из серого и ферритного ковкого чугуна.

Механические свойства модифицированного чугуна в отливках после их отжига: $\sigma_b = 400...460$ МПа, твердость 170...200 НВ и относительное удлинение – 15...18%. После механической обработки отливки подвергают нормализации с нагревом до 950...960°C и охлаждению на спокойном воздухе, что значительно повышает твердость (до 230...249 НВ) и износостойкость, но снижает упруго-пластические свойства.

Такая технология хорошо зарекомендовала себя при изготовлении мелких отливок (прижимы ножа, втулки, звенья цепей, головки ножей и др.) и обеспечивала получение ВЧШГ марки ВЧ40 со стабильными технологическими и эксплуатационными свойствами.

Однако для ряда корпусных и разностенных деталей, работающих при динамических и знакопеременных нагрузках и трении, такой чугун обладает недостаточной надежностью и долговечностью. Поэтому проведены исследования и разработки по оптимизации составов антифрикционных чугунов, модификаторов, легирующих компонентов с целью получения корпусных литых деталей с более высокими характеристиками ударной вязкости и долговечности. При исследовании учитывали факторы и возможности регулирования литой структуры, особенно на степень сфероидизации графита и дисперсности перлита в корпусных отливках. При этом проводили подбор таких модификаторов, легирующих компонентов и условий охлаждения отливок, чтобы в массивных стенках была достаточная плотность, заданная микроструктура, отсутствовали черные пятна, пористость, неспаи, отбел, большие остаточные напряжения и трещины в тонких стенках.

В результате исследований и производственных испытаний установлена более высокая эффективность барийсодержащих модификаторов и модифицирующих смесей при изготовлении сложных разностенных отливок. Оптимальным для массивных отливок остаточное содержание в чугуне магния составляет 0,05...0,08% и бария – 0,04...0,06%. Внедрение улучшенных технологий позволило отправлять ряд отливок на экспорт. Получена достаточно сложная отливка У2210-209 «водило» и ряд отливок двигателей. Освоено производство для завода «Бобруйскагромаш» отливки ступицы Н-12900301 из ВЧШГ.

Карпенко Е.М., Карпенко В.М.
(БГАТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК
emkarpenko@mail.ru

Одним из важнейших направлений развития рыночной экономики Республики Беларусь в настоящее время является повышение качества продукции и на этой основе повышение эффективности общественного производства. Выход из кризисного состояния литейных и машиностроительных предприятий лежит на пути скорейшего освоения конкурентоспособной продукции, строгого соблюдения ее технических параметров, что в дальнейшем может привести к экономической стабилизации и росту производства.

В современной специальной литературе рассматривается большое количество способов контроля качества отливок: рентгеноскопия, гаммаскопия, магнитная дефектоскопия, ультразвуковой контроль, люминесцентный анализ, статистический контроль и другие. Всю совокупность известных методов можно разбить на две группы: 1) методы, позволяющие выявлять причины брака – это методы технологического контроля, они широко используются на литейных предприятиях; 2) методы, позволяющие обобщать причины брака и выявлять тенденции – это статистические методы, основанные на использовании теории вероятности и математической статистики. Эта группа методов используется на литейных предприятиях ограниченно, что существенно снижает эффективность процесса управления качеством.

В данном исследовании будут рассмотрены только статистические методы, так как расширение области их применения является важнейшим резервом предотвращения брака и как следствие снижения себестоимости отливок. Наибольшее применение метод статистического контроля нашел в литейных цехах массового производства, где статистический контроль значительно способствовал снижению брака, улучшению организации труда и более строгому соблюдению технологического процесса.

Исследования, проведенные в ЦВПЧ РУП «ГЗЛиН», показали, что статистический метод контроля в нем используется в следующем виде. При массовом производстве отливок через установленные промежутки времени отбирают несколько отливок, которые подвергают осмотру для выявления наружных пороков, а затем универсальным или специальным измерительным инструментом проверяются основные размеры. Данные контроля заносятся на специальные диаграммы. На них указываются пределы, ограничивающие допустимые отклонения от контрольных параметров. Такими параметрами являются: химический состав, механические свойства, состав шихты, температура металла при выпуске или при заливке (участок плавки и заливки); физико-механические свойства формовочной и стержневой смеси (участок смешивания); степень уплотнения формовочной смеси, качество сборки форм, состояние модельной и опочной оснастки (участок формовки).

При обнаружении брака контролер определяет его характер, и результаты наносит на диаграмму. Анализ диаграммы дает возможность мастеру или технологу цеха выявить наиболее повторяющийся брак и определить причины его возникновения. Эффективность контроля зависит от объема выборки. Это так называемые «ручные» методы статистического контроля, которые не требуют использования специального программного обеспечения и соответствующей техники. Основные недостатки метода в том, что: а) объем выборки определяется субъективно, на основе опыта мастера или технолога цеха; б) интуитивно, экспертным методом выбираются те причины дефектов, на устранение которых направляются ограниченные ресурсы, что не позволяет оптимизировать соотношение «затраты на предупреждение брака – результат».

Внедрение автоматизированных методов контроля качества позволяет создать такую базу данных для последующего анализа, которая позволяет

получать статистически значимые оценки в ограниченный отрезок времени. Это создает предпосылки для осуществления управления качеством в реальном масштабе времени.

Карпенко Е.М., Нестеренко В.В.

(БГАТУ, г. Минск)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДАПТИВНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**
emkarpenko@mail.ru

Устойчивое развитие экономики Республики Беларусь в условиях становления постиндустриального общества обуславливается развитием адаптационных возможностей её субъектов хозяйствования, которое достигается за счёт повышения их адаптивности и эффективности её реализации в процессе функционирования на рынке на основе научно обоснованной технологии управления данным свойством предприятия.

Предприятие способно осуществлять процессы адаптации только в том случае, если оно обладает свойством адаптивности. Адаптивность предприятия – экономическая категория, обозначающая свойство предприятия, наличие которого обуславливает его способность эффективно осуществлять процесс поддержания состояния гомеостатического равновесия в системе «предприятие – внешнее окружение», в ходе которого могут изменяться все качественные характеристики сторон данного взаимодействия, и которое позволяет предприятию соответствовать идеалу деятельности и достигать поставленных целей в условиях нестабильного, сложного, дифференцированного и конкурентного внешнего окружения.

Проведённые теоретические исследования природы адаптивности как свойства предприятия позволили выявить три основных способа его адаптации к происходящим изменениям внешнего окружения:

1. Адаптация посредством трансформации стратегии деятельности предприятия (поведенческая адаптация), то есть модификация поведенческих способов реагирования на изменения, происходящие во внешней среде и внутренних целевых установках.

2. Параметрическая адаптация, реализуемая путём переконфигурирования имеющихся ресурсов и компетенций (небольшого изменения технологии производства).

3. Структурная адаптация, реализуемая путём изменения состава источников возможностей предприятия за счёт проведения НИОКР, обучения персонала, приобретения основных фондов и нематериальных активов, изменения организационной структуры.

Для эмпирической верификации предлагаемых теоретических положений о влиянии интенсивности использования описанных выше способов адаптации предприятия на её результаты было проведено эмпирическое исследование на литейных предприятиях Республики Беларусь. В качестве основного метода исследования использовался регрессионный анализ зависи-

мости между достигнутыми результатами адаптации исследуемых предприятий и показателями, характеризующими интенсивность использования ими поведенческой, параметрической и структурной адаптации (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика результатов адаптации исследуемых литейных предприятий Республики Беларусь и интенсивности использования ими различных её способов

Предприятие	Интегральный показатель			достигнутые результаты адаптации
	интенсивность использования			
	поведенческой адаптации	параметрической адаптации	структурной адаптации	
Предприятие 1	192501	0,9003	0,0020	0,7851
Предприятие 2	2333434	1,2589	0,0089	1,5624
Предприятие 3	16424	0,6937	0,0053	1,2604
Предприятие 4	608195	1,0706	0,0043	0,7176
Предприятие 5	843224	0,7679	0,0014	0,7010
$r_{набл}$	0,3035	0,4234	0,3231	-
$T_{набл}$	2,0646	3,0295	2,2125	-

Данные, приведённые в табл. 1, позволяют сделать вывод о том, что, во-первых, рассматриваемые способы адаптации являются значимыми с точки зрения определения её достигнутых результатов для исследуемых предприятий, во-вторых, между величиной результатов адаптации исследуемых предприятий и интенсивностью использования ими различных её способов существует прямая связь.

Кеуш Д.В., Лютий Р.В., Смольська В.С.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

НОВІ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНІВ У ГАРЯЧОМУ ОСНАЩЕННІ

Серед технологій виготовлення ливарних стрижнів провідними на сьогодні є процеси зміцнення піщано-смоляних сумішей у холодному або нагрітому оснащенні. Основні техніко-економічні переваги таких процесів безсумнівні, але з іншого боку вони призводять до різкого погіршення санітарно-гігієнічних умов праці та забруднення довкілля. Це пов'язано з виділенням шкідливих речовин на етапах сумішоприготування, заповнення стрижневих ящиків, зміцнення стрижнів, при заливанні та охолодженні виливків [1].

Крім вказаних шкідливих факторів, слід відмітити, що далеко не кожному із запропонованих сучасних прогресивних технологій можливо реалізувати в ливарних цехах України через неналежний технічний рівень виробництва і контролю. З економічної точки зору, введення нових технологічних процесів

виготовлення стрижнів і форм призводить до збільшення витрат формувальних матеріалів і енергії [2].

Тому актуальним є подальший пошук зв'язувальних матеріалів і затверджувачів, наукове обґрунтування технології їх застосування. Потрібні в першу чергу зв'язувальні компоненти з високою питомою міцністю і термостійкістю, стабільними адгезійними та когезійними властивостями, низькою собівартістю та недефіцитністю, які забезпечують належні санітарно-гігієнічні умови праці.

На кафедрі ливарного виробництва розроблений ряд нових формувальних сумішей з неорганічними зв'язувальними компонентами на основі ортофосфорної кислоти. Відмінність наших сумішей від традиційних металофосфатних полягає у тому, що в них замість кристалогідратів утворюються інші хімічні сполуки, більш міцні і стабільні.

Досліджені два основних напрямки утворення фосфатів з високою зв'язувальною здатністю:

1) Взаємодія ортофосфорної кислоти із неорганічними солями активних металів (натрію, кальцію, алюмінію). Така взаємодія відбувається при нагріванні в межах 150...300°C, отже суміші призначені для виготовлення стрижнів у гарячому оснащенні. Дослідженими представниками цього класу є суміші з триполіфосфатом натрію ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), хлоридом натрію (NaCl), нітратом і хлоридом кальцію $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і CaCl_2 , нітратом алюмінію $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ та гідрофосфатом алюмінію $\text{Al}_2(\text{HPO}_4)_3$.

2) Взаємодія ортофосфорної кислоти з інертними на перший погляд вогнетривкими наповнювачами (кварцом, цирконом, алюмосилікатними мінералами). Взаємодія відбувається при температурах в інтервалі 250...360°C з утворенням міцних структур на основі фосфатів алюмінію, кремнію, цирконію. Суміші дозволяють отримувати стрижні в гарячому оснащенні з міцністю на стиск не менше 2 МПа та високою поверхневою міцністю (обсипаемість не перевищує 0,5%).

За результатами лабораторних випробувань, проведених при заливанні вуглецевих і легованих сталей, можна дати загальну позитивну характеристику нових сумішей: досягається висока якість (низька шорсткість) литих поверхонь, на більшості виливків не спостерігається утворення пригару та інших поверхневих дефектів, після заливання форми легко руйнуються.

Зважаючи на отриманий ряд позитивних результатів, актуальними є подальші структурні та фізико-хімічні дослідження розроблених сумішей.

Література:

1. Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И. Формовочные материалы и смеси. – К.: Вища школа, 1980. – 416 с.
2. Гамов Е.С. Малоотходная и безотходная технология получения отливок на основе феррифосфатных смесей / Состояние и перспективы получения отливок на основе ресурсосберегающих формовочных смесей. – Липецк: 1983. – С.13...19.

Кізіловам А.Ю., Дьомін Д.А.

(НТУ «ХПІ», м. Харків)

ІМОВІРНІСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЛАВКИ

Якщо умовно, укрупнено, розбити технологію виготовлення виливків на два етапи: етап проектування ливарної форми і етап виробничий – власне виготовлення виливків, то вибір математичного апарату теж буде різним. Від того, наскільки правильно підібраний цей апарат в залежності від етапу виконання завдання, безпосередньо залежить якість одержуваних рішень – власне названі вище критерії оптимізації. Тому в даній роботі поставлена задача аналізу і вибору математичного апарату для всіх етапів отримання готових виливків.

На етапі проектування технології ливарної форми можуть бути застосовані методи планування активного або пасивного експерименту. Результатом застосування цих методів є отримання математичного опису якості виливків або витрат на ливарну форму, в залежності від конструктивних елементів оснащення або параметрів формувальної або стрижневої суміші. При цьому структура моделі являє собою поліном ступеня n , модель – лінійна і може включати коефіцієнти, які враховують сумісний вплив декількох вхідних змінних. Можлива також побудова центральних ортогональних композиційних планів і дослідження отриманої поверхні відгуку на предмет наявності оптимуму і характеру зміни вихідних змінних.

Однак на другому етапі – виробничому – застосування таких методів скрутно. Проблема отримання математичних моделей, які зв'язують склад, структуру і властивості сплаву, полягає в невідповідності великої кількості факторів, які впливають на результат, і неминуче малої вибірки вихідних даних. Шляхи подолання даної проблеми описані в роботах. Зокрема, рішення може полягати в наступному. Сукупність результатів вимірювань чинників утворює пасивний експеримент. Оцінки коефіцієнтів розраховуються методом найменших квадратів. Внаслідок вільного розташування експериментальних точок в області планування, матриця вхідних змінних не є ортогональною, що виключає можливість незалежного оцінювання впливу кожного з факторів і їх взаємодії, що забезпечує відсіювання мало значущих компонентів рівняння регресії. Дана проблема вирішується застосуванням методів штучної ортогоналізації – отриманням кусочно-лінійного опису функції відгуку до всіх гіперквадрантів факторного простору:

$$Y_e = b_{e0} + b_{e1}F_1 + b_{e2}F_2 + \dots + b_{em}F_m, \quad (1)$$

$$B_e = (H_e^T H_e)^{-1} H_e^T Y_e. \quad (2)$$

Після цього вже можуть бути розраховані значення функцій відгуку в точках відповідних вершин гіперкуба – суть точкам плану повного факторного експерименту. Отриманий таким чином план називається планом активно-ортогоналізованого повного факторного експерименту (ОПФЕ).

Застосування імовірнісного методу дозволило побудувати математичну модель, яка описує міцнісні характеристики сталі 20 ГСЛ для виливка «Кор-

пус» в залежності від технологічних режимів плавки, а також знайти оптимальні технологічні параметри процесу. Також за допомогою визначення довірчого інтервалу (другий етап) ми визначили оптимальну кількість легувальних елементів, що дозволяє в рази скоротити матеріальні витрати.

Також дуже важливо відзначити, що за допомогою математичного моделювання можна поліпшити якість литва і скоротити витрати на механічну обробку. За допомогою даного методу є можливим розрахувати точну кількість матеріалів для отримання позитивного результату.

Клок О.В., Чайковський О.А.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

КІНЕТИКА ЗМІНИ ФОРМИ ГРАФІТУ В ЧАВУНІ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАГРІВАННІ

Високоміцний чавун є широко використовуваним матеріалом, який має хороші ливарні (висока рідкотекучість, мала усадка та схильність до гарячих тріщин) та механічні властивості (підвищена міцність, ударна в'язкість, пластичність та стійкість до ударних навантажень). Високий рівень механічних характеристик забезпечується сферичною формою графітових включень, яка забезпечує вищу суцільність графітової матриці, ніж пластинчаста.

Метою проведеного дослідження є вивчення кінетики зникнення ефекту модифікування чавуну при нагріванні його до температур вище лінії ліквідус із наступною витримкою при цих температурах.

Вихідний чавун виплавляли в індукційній сталеплавильній тигельній печі марки ІСТ-0,06 місткістю 60 кг. В якості шихтових матеріалів було обрано сірий чавун марки Л5 ГОСТ 4832-80 та сталевий брутт. Модифікування здійснювалось в ковші комплексним модифікатором ФСМг7. Чавун заливали у сирі піщано-глинисті форми. Після заливання форм дзеркало металу присипали сухим піском. Форми охолоджувалися до кімнатної температури, після чого вибивалися.

Від виливка відрізалися зразки. З кожного зразка вирізалася центральна частина довжиною 35 мм. З обох боків зразка робився шліф для контролю та порівняння структури чавуну та ступеню сфероїдизації графіту по довжині зразка, а також для порівняння структури у різних зразках. Ступінь сфероїдизації графіту визначався за методикою ІПЛ НАН України. Кількість графітових включень у чавуні визначали за допомогою комп'ютерної програми Calculationofthestructure, в основу якої покладено метод Глаголева.

Для проведення експерименту використовувались зразки розміром 10x10x70 мм. Для визначення температури у різних частинах зразка та розподілу температури по всій його довжині було встановлено три термопари: з обох боків та в центрі. Термопари поміщались у кварцові трубки для уникання контакту з металом. Половина зразка із встановленими термопарами поміщалась в індуктор печі і засипалась піском, а інша частина охолоджувалась у металевій ємності з водою.

Під час проведення експерименту одночасно реєструвалася поточна температура в усіх трьох точках зразка, де було встановлено термомпари. З цією метою використовувався АЦП моделі I-7018Z у поєднанні з комп'ютером із встановленим програмним забезпеченням, розробленим на кафедрі ЛВЧКМ.

Після проведення експерименту зразок вилучали та робили повздовжній шліф по висоті для дослідження ступеню сфероїдизації графіту в залежності від часу витримки та температури.

Було проведено експерименти з витримкою 8, 16 та 20 хв при температурі 1260...1300°C. Металографічний аналіз отриманих зразків виявив наступне: частина зразка, яка знаходилась в індукторі, має в структурі ледебурит та міждендритний графіт, а та, яка примусово охолоджувалась – ферит та графіт кулястої форми. Ці зони розділяє перехідна зона. Перехідна зона, в свою чергу, складається із зон, які містять графітові включення пластинчастої та пластинчасто-вермикулярної форми і зон, збіднених вуглецем. Ширина перехідної зони зі зменшенням часу витримки зменшується (при 20 хв – 0,63 мкм, при 16 хв – 0,54 мкм та при 8 хв – 0,25 мкм).

Розмір графітових включень в перехідній зоні також зменшується при зменшенні часу витримки: при 20 хв – 0,19 мкм, при 16 хв – 0,098 мкм та при 8 хв – 0,05 мкм.

Козачук Є.В., Гурія І.М.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІНОАЛЮМІНІЮ

Розроблення технології виготовлення піноалюмінію – матеріалу, який характеризується унікальним поєднанням властивостей, яких сьогодні не має жоден конструкційний матеріал, безумовно має високу актуальність.

Однією з типових задач є вибір легувальних компонентів для отримання сплаву з максимальним значенням досліджуваної властивості. В більшості випадків такі задачі вирішують експериментально, при неповному знанні механізму протікання реакції.

Метод емпіричного пошуку оптимальних умов протікання процесів довгий час залишався неформалізованим. Протягом останніх десяти років стала розвиватися математична теорія екстремальних експериментів, яка дозволяє вибрати оптимальну стратегію дослідження при неповному знанні процесу. Ефективність нового методу досліджень тим вища, чим складніша досліджувана система.

Планування експерименту при вивченні властивостей металевих сплавів у залежності від складу застосовують достатньо довго. Оскільки будь-який сплав є системою, яка складається з більш ніж одного компонента, методи планування в цьому випадку зводять до побудови математичних моделей діаграм склад-властивості. Можливість аналітичного опису залежностей властивостей від складу має ряд переваг перед зазвичай прийнятими геомет-

ричними способами представлення даних. Передусім відпадає необхідність в просторовому представленні складних поверхонь для багатокomпонентних систем, так як, використовуючи рівняння, властивості можна визначити безпосереднім розрахунком.

Властивості сплавів, як і інших систем, можна описувати різними математичними моделями. Найбільшого застосування знайшли моделі в вигляді алгебраїчних поліномів.

Під час досліджень було отримано математичні моделі впливу хімічного складу на параметри пористих виливків та побудовані залежності (рис. 1...5).

У ході роботи встановлено точку оптимального складу сплаву для отримання однорідної пористої структури виливків, яка відповідає 11...13% Mg, до 1% Cu, до 0,7% Zn, решта Al (рис. 6).

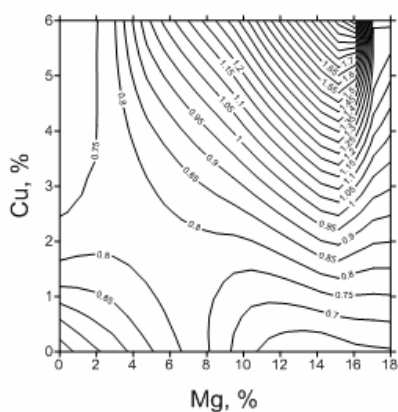


Рис. 1 – Залежність впливу кількості міді та магнію на густину піноалюмінієвих виливків

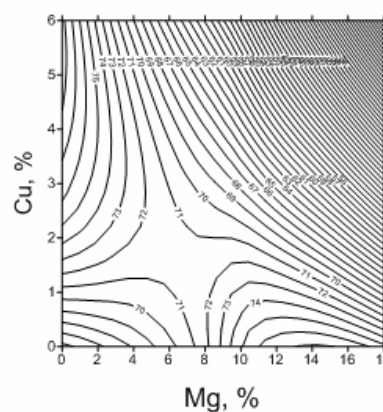


Рис. 2 – Залежність впливу кількості міді та магнію на пористість піноалюмінієвих виливків.

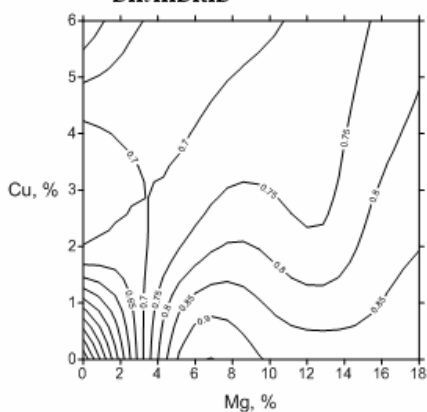


Рис. 3 – Залежність впливу кількості міді та магнію на відношення густин по висоті виливка

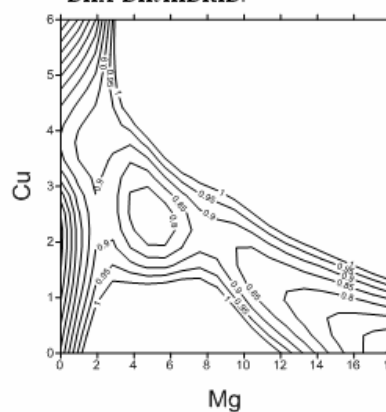
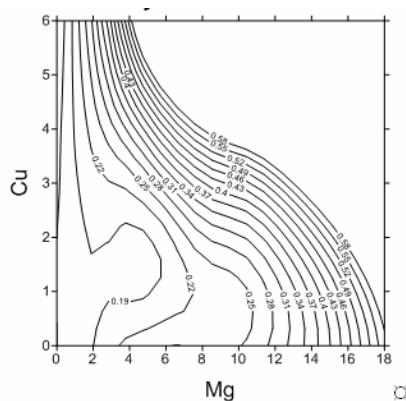
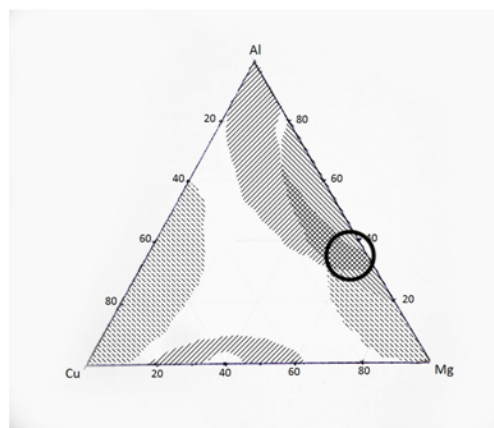


Рис. 4 – Залежність відношення кількості пор по висоті виливка



Залежність відношення кількості пор певного розміру по об'єму виливка.



Оптимальний склад: точка оптимуму, якій відповідає склад: 11-13% Mg, до 1% Cu, до 0,7% Zn, решта Al.

Ковальчук О.В., Шейко О.І.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**РОЗРОБЛЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ
ПРОТИПРИГАРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ,
ЯКІ ГАЗИФІКУЮТЬСЯ**
aksinia-@ukr.net

Більшість протипригарних покриттів, які традиційно застосовуються у ливарному виробництві, є непридатними для лиття за моделями, що газифікуються через незмочуваність поверхні моделі і високу газотвірність складових компонентів покриття при заливанні. Внаслідок низької газопроникності уже існуючі протипригарні покриття недоцільно використовувати при такому способі виробництва виливків.

На утворення пор впливає безліч різних чинників: фізичний стан системи, швидкість видалення розчинника з шару покриття, природа вогнетривкого наповнювача, його змочуваність і дисперсність.

При литті за моделями, які газифікуються, покриття сприяє зміцненню моделі і модельного блоку в цілому, що спрощує їх транспортування від місця виготовлення до місця формування й запобігає поломці блоків моделей під час формування.

Формування поверхні виливка при литті за моделями, які газифікуються, відбувається в результаті складних процесів в системі “модель – метал – форма”. Важливу роль в процесі формування виливка при даному способі лиття відіграє газовий режим ливарної форми. На основні параметри процесу лиття безпосередньо впливає протипригарне покриття.

Для забезпечення відведення продуктів термодеструкції пінополістиролової моделі, протипригарне покриття, яким покривають пінополістиролову модель, повинно мати достатню газопроникність, оскільки від цієї властивості залежить якість виливка.

Газопроникність протипригарних покриттів на основі циркону для пінополістиролових моделей можна підвищити за допомогою введення до складу покриття спеціальних домішок. В якості таких домішок можуть використовуватися матеріали, які вигорають або розкладаються при заливанні металу в форму (деревна мука, лігносульфонат технічний) або розкладаються під час сушіння шару протипригарного покриття (вуглекислий амоній $((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, гідроксид амонію).

Дослідження газопроникності при нормальних та підвищених температурах протипригарних покриттів для моделей, які газифікуються, проводили за методикою, яка розроблена на кафедрі ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ «КПІ».

Встановлено, що при додаванні до складу протипригарного покриття деревної муки (розмір часток 0,05 мм) в кількості до 1% газопроникність покриття при 600°C становить 19...20 од.

В якості домішки, яка розкладається, був випробуваний гідроксид амонію, який частково розкладається при сушінні протипригарного покриття і повністю – при заливанні металу в форму.

При вмісті 5...10% гідроксиду амонію газопроникність протипригарного покриття майже не підвищується в інтервалі температур 20...400°C і становить 2,1...2,8 од. При підвищенні температури до 400...600°C газопроникність протипригарного покриття підвищується до 9...10 од.

Дослідженнями встановлено, що газопроникність протипригарних покриттів можна підвищити шляхом додавання до складу спученого перліту, так як він має пористу структуру, яка добре пропускає газ. Найбільша газопроникність спостерігається при введенні перліту в кількості 20% і досягає 20 од. Оскільки термостійкість перліту складає 1250...1270°C, такі покриття можна рекомендувати при виробництві виливків із залізо-вуглецевих сплавів.

На основі проведених досліджень розроблені оптимальні склади протипригарних покриттів на основі циркону для пінополістиролових моделей, які мають достатню газопроникність при заливанні металу в форму, а також задовільні технологічні властивості – високу седиментаційну стійкість та гарну покривальну здатність і забезпечують отримання якісних виливків.

Ковальчук О.Г. Кривда В.І.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

НА СВІТОВОМУ РИНКУ СТАЛІ УКРАЇНА ПОСТУПИЛАСЬ ТУРЕЧЧИНІ ТА БРАЗИЛІЇ

В минулому 2012 році українським металургам не вдалося втримати раніше завойовані позиції на світовому ринку сталі з обсягами виробництва в 32,91 млн. тонн, що на 2,42 млн. тонн або 6,85% менше значення цього показника за 2011 рік [1].

У рейтингу найбільших світових виробників цього найважливішого конструкційного матеріалу Україна, на жаль, змістилась з 8-го місця в

2011 році на десяте з часткою 2,1% серед країн рейтингової десятки. Україну змогли догнати і перегнати Туреччина з обсягами 35,9 млн. тонн та Бразилія, де було виплавлено 34,7 млн. тонн.

За даними Федерації Металургів України [2] падіння обсягів виробництва металургійних підприємств нашої країни виявилось максимальним серед топової десятки (рис. 1).

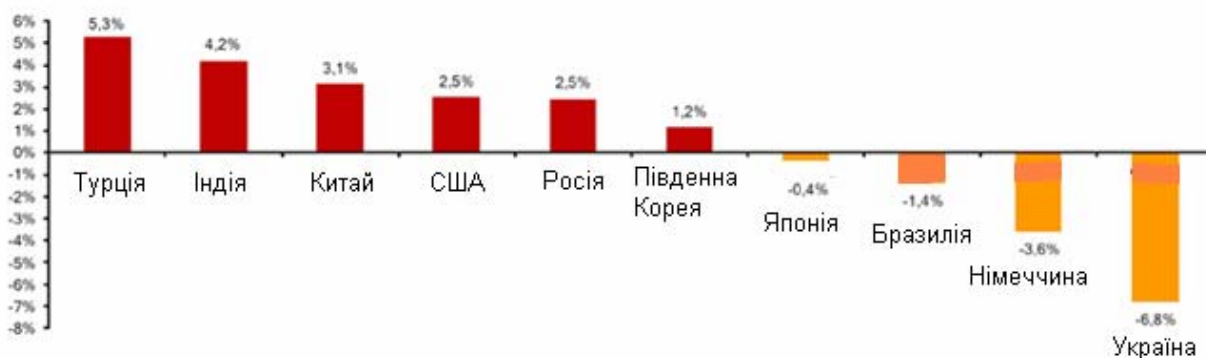


Рис. 1. Зростання (падіння) виробництва сталі в 2012 році в порівнянні з 2011 роком в десяти найбільших країн – виробників сталі

Як правило, українські металурги, пояснюючи падіння вітчизняного виробництва, посилаються на кон'юнктуру світового ринку сталі, але аналіз показників матеріального виробництва цього ринку спростовує це твердження. В табл. 1 наведені порівняльні дані змін обсягів світового та вітчизняного виробництва сталі за останні 5 років та січень 2013 року.

Таблиця 1 – Зміни обсягів світового та вітчизняного виробництва сталі

Виробники сталі	Обсяги виробництва в 2007 р., млн. тонн	Зростання (зменшення) обсягів виробництва сталі у % до попереднього періоду					
		2008 р.	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Світ	1347,2	-0,6	-7,8	15,8	6,8	1,4	-3,3
Україна	42,8	-12,8	-19,8	11,7	5,7	-6,8	-4,2

З наведених даних видно, що у період покращення світової кон'юнктури на ринку сталі вітчизняний металургійний комплекс не встигає за зростанням попиту, що демонструють показники змін обсягів за 2010 та 2011 роки. В той же час падіння світового попиту відображається на обсягах вітчизняного виробництва значно більше, ніж на загальне світове виробництво.

Такий висновок стосується періоду світової фінансово-економічної кризи 2008 та 2009 років і особливо 2012 року, коли світове виробництво сталі, хоч і незначними темпами, але все ж таки зросло на 1,4%, а вітчизняний металургійний комплекс скоротив виробництво на 6,8%.

В січні 2013 року спостерігалось скорочення виробництва сталі, як у світовому масштабі (-3,3%), так і в Україні (-4,2%), але один місяць не дає право робити обґрунтовані висновки.

Таким чином, треба констатувати, що вітчизняні металургійні підприємства вже давно програють у жорсткій конкуренції на світовому ринку сталі, але цей програвш поки ще не є критичним.

Список першоджерел:

1. <http://www.ugmk.info/art/ukrainskij-jeksport-2011-metallurgi-derzhat-marku.html>.
2. http://www.com/world_steel_association.

Косячков В.О., Лук'яненко І.В., Михалевич Д.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ КРЕМНІЄМ ТА МАГНІЄМ НА МЕХАНІЗМ І КІНЕТИКУ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЧАВУНУ ПІД ЧАС ЕВТЕКТИЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

З метою доповнення і розширення дискусійного сучасного уявлення про механізм і кінетику формоутворення графіту в залізо-вуглецевій евтектиці досліджували вплив кремнію, а також комплексного сфероїдизувально-графітизувального модифікування магнієм і кремнієм на первинне структуроутворення чавуну.

Опосередкованим гартівно-структурним методом досліджували мікроструктуру не модифікованих і модифікованих сплавів з 0,68...7,40% Si, у дрібних виливках, охолоджених у кокілі з максимально можливою технологічною швидкістю, і у масивних виливках, охолоджених у підігрітій піщаній формі з мінімальною швидкістю. В першому випадку фіксували структуру чавуну, наближену до початку його евтектичної кристалізації і формоутворення графіту, а в другому – до її закінчення.

За результатами виконаного дослідження, з урахуванням гіпотез і фактів, наведених у технічній літературі, можна зробити наступні висновки.

Доведено, що істинний мольний розчин вуглецю та інших елементів у залізі не є природним рідким станом технічного чавуну за звичайними технологічними температурами перегріву у плавильному агрегаті над температурою ліквідус перед розливанням у ливарні форми. Природним рідким станом чавуну є дрібнодисперсний колоїдний розчин "спадкового" з шихти компактного графіту у пересиченому вуглецем та іншими технологічними домішками рідкому залізі.

Підтверджено, що кристалізації чавуну за стабільною системою передує його попередня кристалізація за метастабільною системою з рідини, яка містить окремі включення "спадкового" з шихти графіту компактної конфігурації.

Припущено, що ідіоморфною (природною) формою зародків графітної фази в процесі первинної кристалізації чавуну є компактна куляста, а не кубічна або гексагональна.

Припущено, що у не модифікованому чавуні параметричні характеристики пластинчастого графіту наприкінці евтектичної кристалізації залежать від швидкості та напрямку дифузії іонів вуглецю та "крапкоподібного" графіту у залишковій евтектичній рідині. Трансформація компактної графітової "туманності" на пластинчастий графіт відбувається за рахунок неоднорідних фізико-хімічних властивостей залишкової рідини і більш високих показників міжатомних ковалентних сил зв'язку вуглецю на периферії секторів "туманності", ніж між окремими секторами. Можливо, рафінування чавуну магнієм від сірки та кисню знижує в'язкість і флуктуаційну неоднорідність залишкової рідини і графітні включення зростають з однаковою швидкістю в усіх напрямках.

Підтверджена суттєва позитивна роль кремнію на прискорення кінетики процесу графітизації. Встановлено, що при високому вмісті вуглецю понад 4,4% і низькій швидкості охолодження повна графітизація модифікованого чавуну на рівні 96...100% встигає відбутися в процесі евтектичного перетворення навіть при низькому до 0,7% вмісті кремнію в вихідному сплаві.

Результати експерименту свідчать на користь гіпотези про подвійний механізм формоутворення графіту під час первинної кристалізації чавуну (дифузійно-коагуляційний), тобто як шляхом дисоціації первинного і евтектичного цементиту на іони вуглецю та заліза з наступним дифузійним прямуванням вуглецю крізь залишкову рідину до спонтанних або "спадкових" зародків твердої графітної фази, так і шляхом попередньої дифузійної кристалізації іонів вуглецю у дрібнодисперсні крапкоподібні включення з їх наступною коагуляцією до зародку з утворенням відносно великих включень графіту різноманітної конфігурації.

Красінський В.В.¹, Jachowicz T.², Duleba B.³
(¹НУЛП, м. Львів, Україна; ²LUT, м. Люблін, Польща;
³TUKE, м. Кошице, Словаччина)

**АЛЮМОСИЛКАТНІ НАНОКОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ СУМІШЕЙ
ПОЛІПРОПІЛЕН-ПОЛІКАПРОАМІД**
vkrasinsky82@gmail.com

Останнім часом композиційні матеріали на основі полімерів, які містять нанорозмірний наповнювач, викликають підвищений інтерес у дослідників різних галузей науки. Полімерні наноккомпозити (НК) мають ряд переваг за фізико-хімічними властивостями у порівнянні з чистими полімерами і традиційними композитами [1]. Зокрема, НК відрізняються підвищеними міцнісними характеристиками при збереженні пластичності матеріалу, термічною стабільністю і стійкістю до горіння, зниженням газопроникності матеріалу і т.д. Що особливо важливо, покращення властивостей досягаються вже при відносно невеликому вмісті наповнювача (1...5% мас.) в полімерній матриці.

В даний час найбільш широко вживаними і багатотоннажними полімерами, які випускаються промисловістю є найпростіші поліолефіни, такі як поліетилен, поліпропілен, а також їх кополімери і суміші. До теперішнього

часу активно триває пошук методів покращення експлуатаційних характеристик матеріалів на їх основі, і цей процес далекий від завершення, а тому залишається досить актуальним.

Для отримання полімерних НК, які містять полярні шаруваті силікати, необхідно створити умови для диспергування глини в неполярних поліолефінах і проникнення (інтеркаляції) макромолекул в простір між силікатними пластинами. Для цього глини попередньо модифікують, використовуючи поверхнево-активні речовини (ПАР) різного типу, при адсорбції яких на поверхні силікатних пластин формуються органофільні шари. Тому, для успішного отримання полімер-силікатних НК необхідно перш за все розробити ефективні методи створення органофільних шарів на поверхні глинистих мінералів, визначити їх властивості і вплив на проникнення полімерів у міжшаровий простір глини або відлущування силікатних пластин в полімерній матриці (поділ частинок глини на окремі пластини без збереження їх впорядкованості) [2]. Ці процеси, без сумніву, будуть впливати як на надмолекулярну структуру полімерної матриці, так і на його фізико-механічні властивості. Тому в роботі було вирішено, для створення органофільних шарів на поверхні монтморилоніту, модифікувати його в розтопі поліаміду, а вже потім суміщати з поліпропіленом.

Метою роботи було встановити вплив алюмосилікатного наповнювача монтморилоніту (ММТ) на релаксаційні та фізико-механічні властивості поліпропілену (ПП) в суміші з полікапроамідом ПА-6.

Виходячи з термо-механічного аналізу зразків композитів на основі сумішей ПП-ПА-6-ММТ, можна стверджувати, що ММТ має суттєвий вплив на структуру композиту, який стає більш штивним, внаслідок чого зростає температура текучості матеріалу і зменшується високоеластична деформація.

Розроблені полімерні композити на основі суміші поліпропілену з полікапроамідом 6, які містять монтморилоніт як нанонаповнювач, при вмісті останнього в композиції від 1 до 2% відзначаються аналогічними з поліпропіленом фізико-механічними властивостями (міцністю при згинанні та розтягуванні), проте мають значно вищі значення часів релаксації за кімнатної температури, що дозволяє їх рекомендувати для виготовлення виробів, які працюють при тривалих статичних навантаженнях і підвищеній температурі.

Робота виконана в рамках європейського Гранту "Technological and design aspects of extrusion and injection moulding of thermoplastic polymer composites and nanocomposites" 7-мої Рамкової програми FP7-PEOPLE-2010-IRSES згідно угоди PIRSES-GA-2010-269177.

Література:

1. Branislav Duleba, František Greškovič, Volodymyr Krasinskiy. Uhlíkové nanotrubičky – materiál pro budoucnost / Transfer inovací. – 2011. – nr. 21. – s. 192...197.
2. Garbacz T.: Wpływ wybranych środków pomocniczych na właściwości warstwy wierzchniej wytłaczanego polietylenu. Polimery 2004, 1. – s. 23...28.

Красінський В.В.¹, Заплатинська Н.О.¹, Garbacz T.², Dulebova L.³

(¹НУЛП, м. Львів, Україна; ²LUT, м. Люблін, Польща;

³TUKE, м. Кошице, Словаччина)

НОВІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ НОВОЛАЧНИХ ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ

vkrasinsky82@gmail.com

Лакофарбові матеріали застосовуються для різних цілей, зокрема для захисту матеріалів від руйнування, наприклад, металів – від корозії, дерева – від гниття, а також для декоративного оброблення виробів. Також існують лакофарбові матеріали спеціального призначення, наприклад: електроізоляційні, флуоресцентні, термоіндикаторні, термостійкі, бензо- й оливостійкі і т.п. Лакофарбові покриття можуть мати різні властивості, які визначаються в основному природою плівкоутворювальної речовини, а також структурою покриття, яке в більшості випадків складається з декількох шарів.

В промисловості широко відомі феноло-формальдегідні лаки, де в ролі плівкоутворювача використовують немодифіковані та модифіковані резольні і новолачні феноло-формальдегідні смоли (ФФС). Найбільше використання отримали резольні або бакелітові лаки, які представляють собою 50...70% спиртові розчини немодифікованих резольних смол. Одержані на їх основі покриття мають відносно високу термостійкість, володіють високою поверхневою твердістю, стійкістю до розчинів мінеральних кислот, солей та органічних розчинників. Основними недоліками таких покриттів є низька адгезія до металу, крихкість і нестійкість до дії лугів та окисників. Тому проблема одержання нових і модифікації існуючих полімерних лакофарбових композицій, є завжди актуальною.

Модифікація феноло-формальдегідних композицій з використанням епоксидіанової смоли та полімерів N-вінільного ряду забезпечує комплексне покращення властивостей структурованих фенопластів, як внаслідок утворення додаткових просторових хімічних і фізичних сіток в резиті, так і внаслідок наявності у макроланцюзі таких полімерів полярних функційних груп. В зв'язку з цим важливим є новий спосіб модифікації, при котрому поряд із підвищенням еластичності резиту та його адгезії до металу, зберігається висока теплостійкість покриття. Вирішення цього завдання передбачається розв'язати внаслідок структурування новолачної ФФС за допомогою епоксидіанової смоли ЕД-20 і полівінілпіролідону (ПВП) [1], виключаючи уротропін як затверджувач, який утворює велику кількість шкідливих летких при затвердженні смоли.

Проведені дослідження підтвердили можливість хімічної модифікації новолачних феноло-формальдегідних смол полівінілпіролідонем та епоксидною смолою за температур вищих 120°C [2]. За допомогою методів диференційно-термічного та ІЧ-спектроскопічного аналізів, а також з використанням модельних сполук, показано, що макромолекули ФФС приєднуються до ПВП за участі вільних метоксильних груп ФФС новолачного типу та карбонільних груп ПВП. Показано, що модифікація новолачних ФФС полівінілпіролідонем та епоксидною смолою створює умови затвердження композиції без уротро-

піну, внаслідок чого вдалося отримати термотривкі нетоксичні лакофарбові матеріали, які характеризуються високою технологічністю, підвищеними адгезією та фізико-механічними властивостями, зберігаючи низьке водопоглинання.

Робота виконана в рамках європейського Гранту "Technological and design aspects of extrusion and injection moulding of thermoplastic polymer composites and nanocomposites" 7-мої Рамкової програми FP7-PEOPLE-2010-IRSES згідно угоди PIRSES-GA-2010-269177.

Література:

1. Пат. 82171 Україна, МПК С 08 К 5/09, С 08 L 61/00. Полімерна композиція для склеювання сталі зі склом / О.В. Суберляк, Й.М. Шаповал, В.В. Красінський. – №а200703595 ; заявка 02.04.2007 ; опубл. 11.03.2008, Бюл. № 5.

2. O.V. Suberlyak, V.V. Krasins'kyi, I.M. Shapoval and O.M. Hrytsenko. Influence of the mechanism and parameters of hardening of modified novolac phenol-formaldehyde resins on the physicomechanical properties of the composite / Materials Science. – 2011. – Number 5. – P. 669...678.

Кужель Д.Г., Ямшинський М.М.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ
ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ
garliani777@gmail.com**

Одним із резервів підвищення експлуатаційних властивостей виливків є утворення на їх поверхні шару металу, який мав би особливі, запрограмовані, структуру і службові властивості, тобто відійти від об'ємного легування до використання поверхневого. Формування робочого шару композиційних виливків можна здійснювати методами поверхневого легування з використанням різних обмазок або армуванням поверхні виливка вставками, попередньо виготовленими тим або іншим способом (штамповкою, гальванопластикою, механічним обробленням, точним литтям тощо).

Поверхнєве легування дозволяє суттєво підвищити зносостійкість виливків внаслідок керування процесами структуроутворення поверхневого шару.

Найчастіше і доцільніше поверхнєве легування здійснювати нанесенням на поверхню форми або стрижня легувального компонента (припилу, пасти, фарби). Рідкий метал, який заливають у форму, вступає у взаємодію з цим покриттям, яке розчиняється в ньому і утворює легований шар, властивості якого відрізняються від матричного металу. Таким способом за літературними даними можна отримати легований шар товщиною до 7...12 мм.

Для попередження газових раковин у легованому шарі можна запропонувати відведення газів із форми методом вакуумування або використовувати стрижні із негасотвірної суміші. У цих випадках вірогідність ураження газовими раковинами виливка незначне.

Вибір зразків для дослідження процесів поверхневого легування здійснювали на підставі всебічного аналізу літератури. Установлено, що оптимальна методика поверхневого легування для виробничих умов відсутня.

Розроблено оснастку та апробовано методику (рис. 1), яка дозволяє отримувати виливки із диференційованими властивостями нижньої та верхньої поверхні.

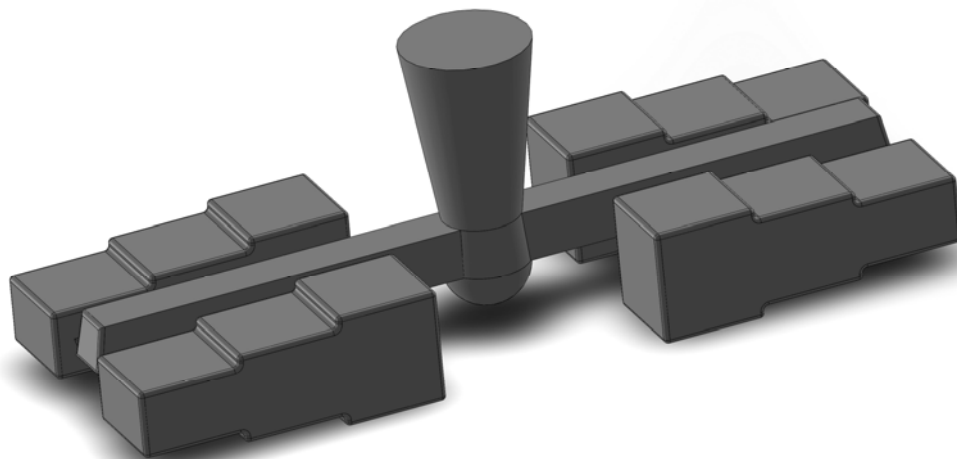


Рис. 1 – Модельна оснастка для виготовлення виливків із диференційованими властивостями

Легувальне покриття наносили на стрижні, виготовленні із рідкоскляної суміші (90% Орхівського піску, 4% бентоніту і 6% рідкого скла).

На підставі аналізу геометрії та розмірів литих деталей, які піддаються інтенсивному зносу, установлено, що середня товщина стінок виливків знаходиться в межах 30...40 мм. Тому для вивчення процесів поверхневого легування вибрані зразки з товщинами стінок 30, 40 і 50 мм. Запропонована технологія дозволяє одночасно в одній формі дослідити 2...4 легувальних покриттів із різних фракцій і різної товщини обмазок.

Дослідження здійснювали залежно від товщини стінки вилівка та від товщини легувального покриття.

Легувальне покриття певного складу наносили товщиною 1, 3, 4, 5, мм.

Оскільки дана науково-дослідницька робота знаходиться на початковій стадії, використовували обмазки, які наносили на стрижні шпателем. Для одержання легувального покриття однакової товщини на модельній оснастці використовували металеві пластини різної висоти – 1, 3, 4, 5, мм, що утворює в стрижні заглибини відповідної висоти і які заповнюють легувальними покриттями.

Стрижні з покриттям встановлювали у ливарну форму безпосередньо перед заливанням: вони мали температуру 150...200°C.

Раніше відомі методики не дозволяли отримувати поверхневе легування бокових стінок та верхньої частини вилівка. За наведеною методикою можна одночасно отримувати диференційовані властивості металу поверхні в різних місцях вилівка.

Запропонована методика пройшла лабораторні випробовування в умовах ливарного цеху кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів.

Отримані результати досліджень свідчать про високі відтворюваність та достовірність результатів.

Ладохін С.В., Смашнюк Ю.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ОТРИМАННЯ ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗІ СПЛАВІВ СІМЕЙСТВА ТІКАД

Сплави системи ТІКАД, які представляють собою нові матеріали евтектичного типу на основі системи Ti-Si, були розроблені в Дніпропетровському металургійному інституті під керівництвом В.І. Мазура спочатку як альтернативний матеріал для деталей дизельних двигунів. Ці сплави по теплофізичних властивостях і щільності наближаються до металокерамічних, але володіють кращими фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками, що має забезпечити більш високу надійність при роботі в теплонавантажених умовах зі значними динамічними навантаженнями.

У табл. 1 наведені фізико-механічні властивості матеріалів сімейства ТІКАД в порівнянні з деякими найбільш широко використовуваними керамічними і металевими матеріалами. Аналіз наведеної таблиці показує, що сплави сімейства ТІКАД представляють новий клас конструкційних матеріалів, вдало поєднують найбільш цінні властивості як металевих, так і керамічних матеріалів:

- низькі значення щільності, теплопровідності, температурного розширення, у порівнянні з такими ж величинами для конструкційних керамік;
- високі міцнісні характеристики при робочих температурах.
- високу стійкість до розвитку тріщин, що істотно перевищує цей показник для керамік;
- високу питому міцність в широкому температурному інтервалі, співставну з такими ж значеннями для промислових титанових сплавів.

Однією з переваг розглянутих сплавів є можливість отримання з них литих виробів. До таких виробів, які працюють у зазначених вище умовах експлуатації, належать, зокрема, деталі циліндро-поршневої групи дизельних двигунів. Результати розробок з отримання таких деталей зі сплавів сімейства ТІКАД складу Ti-5 Al-6 Si і Ti-5 Al-6 Si-6 Zr, з яких виготовлялися накладки на поршні і головки циліндрів, а також клапани і вставки в циліндри двигунів Д-21 і Д-144, були наведені в фахових журналах.

Вибір електронно-променевої ливарної технології для отримання зазначених деталей був зроблений після аналізу можливостей інших методів плавки і лиття титанових сплавів, який показав перспективність саме електронно-променевої технології. Що стосується способу власне лиття, то, беручи до уваги конструкцію і вагу деталей, було вибрано кокільне лиття.

Таблиця 1 – Властивості матеріалів ТІКАД

Властивості при 20°C	ТІКАД	Ti-6Al-4V	Si ₃ N ₄
Макс, робоча температура (°C)	800	500	1400
Густина, (г/см ³)	4,58...4,63	4,40	2,40...3,40
Границя міцності, (МПа)	650...950	900...1000	150...450
Відносне подовження, (%)	0,3...0,5	5...10	0
Границя міцності при стисканні (МПа)	1650	1000...1250	-
Відносна деформація при стисканні, (%)	5	4...6	-
Тріщиностійкість, (МПа/м ^{III})	17...21	60...70	6...10
Твердість, (ВС)	40...48	36...40	-
Модуль Юнга, (ГПа)	>141...146	110...120	250...320
Теплопровідність, (Вт/м*К)	- 5,9...7,0	7,0	15...20
Коефіцієнт термічного розширення (10 ⁻⁶ /°C) 20...800 °C	8,5...10,0	10,0	3...5

Левченко Ю.М., Надікова Д.М., Верховлюк А.М.

(ФТІМС НАН України, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВУ СИСТЕМИ Al-Zn-Mg-Cu

Широке використання алюмінієвих сплавів в різних галузях промисловості потребує вивчення їх корозійних властивостей. Стійкість суттєво залежить від хімічного складу, структури та поверхневої оксидної плівки. Завдяки утворення щільної плівки, яка в основному складається з оксиду алюмінію, вона слабо кородує, як в кислому, так і в лужному середовищах.

Дослідження корозії сплавів на основі алюмінію проводять в більшості методом визначення загальної корозії, яка характеризується зміною маси зразка. В роботі вивчали взаємодію сплаву марки В95 (% мас.: Zn – 5,98; Mg – 2,42; Cu – 1,80; Si – 0,40; Mn – 0,36; Fe – 0,33; Cr – 0,15; Ti – 0,10) і модифікованих сплавів стандартною лігатурою Al-5%Ti-1%V та мікрокристалічною Al-2,5Zr. Кислий розчин готували за допомогою соляної кислоти (0,1% розчин HCl), а лужний – соди (1% розчин Na₂CO₃).

Зразки для дослідження готували відповідно ГОСТ 9.905-85. Після цього їх зважували на аналітичних терезах марки ВЛР-200, обмірювали штангельциркулем та розраховували площу поверхні.

Підготовлені таким чином зразки розміщували в скляні ємності по 3 шт. та заливали агресивним розчином. Експерименти проводили при температурі 19±3°C. Загальний час їх контакту з розчином складав 240 годин. Через певний проміжок часу їх виймали з рідини та витримували на повітрі протягом 3 годин і потім знову занурювали. Через кожні 24 години з відповідної ємності зразки виймали та промивали питною та дистильованою водою, висушували та зважували.

Встановлено, що в кислому середовищі всі зразки кородують інтенсивніше, ніж в лужному. При цьому втрата ваги становить приблизно в два рази

вище. Особливо високу корозійну стійкість виявив сплав, який модифікований лігатурою Al-2,5Zr.

Візуальні спостереження показали, що в розчині соди поверхня всіх зразків потемніла через 6 годин та вкрилася плівкою, що призвело до зниження швидкості корозії. Що стосується сплаву, який було модифіковано кристалічною лігатурою Al-5%Ti-1%B, візуально спостерігаються сірі рихлі плями. Ці утворення добре розчиняються у воді.

Таким чином встановлено, що сплав на основі алюмінію марки В95, попередньо насичений цирконієм та модифікований лігатурою Al-2,5Zr, виявляє вищу корозійну стійкість, ніж вихідний, як в кислому та і в лужному середовищах. Також встановлено, що всі зразки сильніше кородують в кислому середовищі.

Леоха Ф.Л., Рябцев А.Д., Ратиев С.Н., Грицюк А.А.

(ДонНТУ, г. Донецьк)

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ТИТАНА МЕТОДОМ КАМЕРНОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

Титановые сплавы как конструкционный материал в наше время имеют значительный интерес для многих отраслей промышленности благодаря высокой удельной прочности, низкой плотности и коррозионной стойкости.

Одним из наиболее широко используемых в промышленности сплавов является Ti-6Al-4V. Он находит применение практически во всех областях, включая и медицину, несмотря на то, что имеются многочисленные публикации о вредном воздействии соединений ванадия на организм человека. Актуальной является задача разработки новых технологий получения сплавов, легированных безопасными и дешевыми элементами, с сохранением при этом комплекса механических свойств.

Перспективными в данном отношении являются такие элементы как кислород и углерод, которые при малых концентрациях (до 0,4%_{вс}) эффективно упрочняют титан при относительно небольшом падении пластических свойств. Управляя содержанием в титане данных элементов в определенной степени можно достичь хорошего соотношения пластических и прочностных характеристик сплава.

В данной работе для получения титана, легированного кислородом и углеродом, использовали камерный электрошлаковый переплав (КЭШП). Данный процесс обеспечивает одновременное плавление металла расходного электрода, ввод легирующих элементов и кристаллизацию слитка в контролируемой атмосфере.

Для легирования титана кислородом из титановой губки марки ТГ-100 (0,035% O₂; 0,03 %_{вс} С) изготавливали расходные электроды, в которые равномерно вводили порошки оксида титана (TiO₂) нано- и микроразмера. Для легирования титана углеродом применяли технический углерод и углеродные нанотрубки. Ввод наночастиц оксида титана и углерода в металл по-

звolyаєт вплив на його структуру и получать более мелкое зерно за счет создания большого числа центров кристаллизации.

Титан переплавляли в камерной электрошлаковой печи, созданной на базе аппарата А-550 в атмосфере аргона. Переплав проводили под флюсом из чистого CaF_2 марки «Ч» (ТУ 6-09-5335-88). Использовали технологию «твердого» старта, когда флюс расплавляется непосредственно в кристаллизаторе. Напряжение и ток переплава составляли 40 В и 2,0 кА, соответственно.

В результате переплава получали слитки титана с содержанием кислорода от 0,09 до 0,73 %_{вес} и твердостью от 123 до 294 НВ. Зафиксирован рост временного сопротивления разрыву (от 390 до 775 Н/мм²) и предела текучести (от 491 до 774 Н/мм²). При этом наблюдается уменьшение относительного удлинения образца от 27,1 до 0,3 %. Проведенный металлографический анализ показал, что в титане без ввода диоксида титана наблюдается равноосная, крупная структура. В образцах титана с вводом микро- и нанопорошков оксида титана структура более дисперсная и имеет вид «корзиночного плетения». Следует отметить, что большее влияние на измельчение структуры оказывает введение нанопорошков оксида титана.

Слитки титана легированного углеродом содержат от 0,012 до 0,34 %_{вес} С, имеют твердость от 115 до 205 НВ и характеризуются хорошей структурной и химической однородностью. При этом титан, легированный наночуглеродными трубками, имеет большую твердость.

Таким образом, в работе показана возможность эффективного и управляемого легирования титана кислородом из порошка оксида титана (TiO_2) микро- и наноразмера, и углеродом из технического порошка углерода или углеродных нанотрубок. Полученный металл характеризуется повышенными прочностными характеристиками с относительно низким падением пластических, а также хорошей однородностью.

Лиман Г.М., Сиропоршнев Л.М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

КІНЕТИКА ТВЕРДНЕННЯ СТРИЖНЕВОЇ СУМІШІ ДЛЯ КОМБІНОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ

Лиття за газифікованими моделями – технологія, яка дозволяє отримати виливки високої точності при порівняно незначних витратах, однак недоліком лиття за газифікованими моделями є неможливість отримання виливків зі складними внутрішніми порожнинами, які неможливо заповнити сипким наповнювачем при вібраційному ущільненні.

Враховуючи малу конструкційну міцність пінополістиролу, виникає необхідність в розробленні стрижневої суміші з використанням вогнетривкого наповнювача низької густини – спучений перліт (ГОСТ 10832-91) насипна щільність перлітового піску коливається від 45 до 200 кг/м³.

В якості зв'язувального компонента використовується порошкоподібна фенольна смола СФП 011Л (ТУ 2257-111-05015227-2006) – суміш твердої

фенолоформальдегідної смоли і уротропіну, отримана в процесі їх одночасного механічного подрібнення.

Розчинниками зв'язувального компонента смоли СФП 011Л рекомендовано використовувати ацетон та етиловий спирт. Кращі показники має суміш з використанням розчинника – ацетона, проте згідно українського законодавства, цей розчинник є прекурсором та заборонений до використання, в якості заміника для роботи використовували етилацетат.

Оптимальне співвідношення кількості матеріалів становить: наповнювач – спучений перліт 90% об., зв'язувальний компонент СФП 011Л 8% об., розчинник – етилацетат 2% об.

Дослідження кінетики тверднення стрижневої суміші проводилось із використанням зразків «вісімок» при температурах 180, 200, 220°C та часом оброблення в печі від 1 хв до 10 хв, визначалась глибина проникнення голки Віка в зразок одразу після сушки в печі та після додаткової 30 хв витримки зразків на повітрі (табл. 1 та 2).

Таблиця 1 – Кінетика тверднення зразків стрижневої суміші при обробленні в печі без витримки на повітрі

Температура оброблення в печі, °C	Глибина проникнення голки Віка, мм, при тривалості сушіння, хв					
	1	2	3	5	7	10
180	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5
200	4,0	3,0	2,0	1,0	1,0	1,0
220	3,0	2,5	1,0	0,5	0,5	0,5

Таблиця 2 – Кінетика тверднення зразків стрижневої суміші при обробленні в печі з 30-хвилинною витримкою на повітрі

Температура оброблення в печі, °C	Глибина проникнення голки Віка, мм, при тривалості сушіння, хв					
	1	2	3	5	7	10
180	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0
200	3,0	2,0	1,5	0,5	0,5	0,5
220	2,5	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5

Показники після витримки на повітрі значно вищі у порівнянні зі зразками без витримки.

З отриманих даних дослідження процесів кінетики тверднення визначено оптимальний час та температуру оброблення зразків у печі для отримання максимальної міцності стрижневої суміші. Оптимальний час оброблення становить 5 хв та оптимальна температура становить 200°C.

Лютий Р.В., Гурія І.М., Кеуш Д.В.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІЦНЕННЯ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ ІЗ ВОГНЕТРИВКИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Підвищення якості продукції ливарного виробництва може бути досягнуто розробленням нових та удосконаленням існуючих технологій, в тому числі технологій виготовлення форм і стрижнів. При виготовленні сучасних ливарних форм і стрижнів найбільш поширеним є процес їх зміцнення у контакті з модельним оснащенням.

Якість виливків великою мірою залежить від якості ливарної форми. Сучасні процеси виготовлення та зміцнення форм не завжди забезпечують отримання литих деталей без дефектів, особливо це стосується виливків із вуглецевих та легованих сталей. Наприклад, стрижні, отримані за відомим Cold-box-amin процесом сприяють навуглецюванню поверхонь, в деяких випадках утворенню просічок, мають відносно ускладнену вибиваємість. Невисока якість поверхонь виливків спостерігається при застосуванні стрижнів, виготовлених по Free-Radical процесу та форм по Beta-Set процесу [1].

Тому актуальним є забезпечення більш високого рівня властивостей вогнетривких сумішей, призначених для виготовлення форм. Найбільш стійкими до високих температур та фізико-хімічних впливів є суміші на основі неорганічних зв'язувальних компонентів, таких як фосфорнокислі солі металів, і ця зв'язувальна система є найменш вивченою.

В роботі дослідили процес утворення зв'язувального компонента у системі ортофосфорної кислоти і кремнезему SiO_2 . Для забезпечення високого рівня фізико-механічних властивостей сумішей необхідно утворити міцний адгезійний зв'язок із вогнетривким наповнювачем [2]. Для зв'язувальних компонентів, які утворюються безпосередньо у суміші, цей процес є ускладненим, тому що потребує певного інтервалу часу, який, як правило, є більшим за період зміцнення структури зв'язувального компонента. Утворенню адгезійного зв'язку також заважають різні домішки, наявні на поверхні зерен наповнювача.

Для покращення адгезійних властивостей використовують різні модифікувальні добавки або підбирають для конкретного вогнетривкого наповнювача відповідний зв'язувальний компонент, який має близьку до нього хімічну структуру. Наприклад, для піщано-смоляних сумішей широке застосування знайшли кремнійорганічні модифікувальні добавки – силани. Міцний зв'язок забезпечується завжди при використанні однорідних за мінералогічним складом матеріалів, як то: етилсилікат разом з пилоподібним кварцом, смола разом з графітом [3].

В нашій роботі вперше зв'язувальний компонент у формувальній суміші утворюється при безпосередній взаємодії її вогнетривкого наповнювача (зокрема кварцового піску або пилоподібного кварцу) із ортофосфорною кисло-

тою. При цьому реалізується механізм утворення адгезійного зв'язку з наповнювачем за рахунок здійснення хімічної реакції на його поверхні (рис. 1).

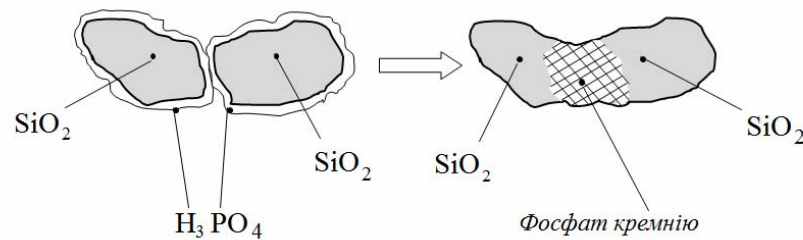


Рис. 1 – Схема взаємодії частинок піску із ортофосфорною кислотою з утворенням зв'язувального компонента

Частинки кварцу вступають у взаємодію з ортофосфорною кислотою при нагріванні до $300...320^\circ\text{C}$. Взаємодія йде досить повільно, але її наслідком є утворення нового продукту – фосфату кремнію, який має структуру неорганічного полімера, а міцність зв'язку із поверхнею наповнювача пояснюється тим, що зникає чітка межа між чистим SiO_2 та утвореним зв'язувальним компонентом. Останній, в свою чергу, особливий ще тим, що в момент утворення відразу зміцнюється, не перебуваючи в рідкому стані, що є необхідною умовою для інших зв'язувальних компонентів. Зміцнення при відповідній температурі без необхідності подальшого охолодження дозволяє отримувати з такої суміші стрижні у гарячому оснащенні.

Очевидно, що наявність будь-яких домішок на поверхні частинок піску суттєво знижує адгезійну міцність, а наявність дрібнодисперсних домішок (наприклад, глинястої складової), як правило, позитивно впливає на властивості суміші. В дослідженнях встановлено, що відносною активністю до ортофосфорної кислоти характеризуються часточки піску розмірами менше $0,2\text{ мм}$ – саме вони здатні до взаємодії за схемою, наведеною на рис. 1. Найбільш оптимальним матеріалом з точки зору реалізації даної схеми є пілоподібний кварц [4].

При виготовленні стрижнів із дослідженої суміші, на відміну від найбільш поширених на сьогодні технологій, не висуваються особливо високі вимоги щодо якості наповнювача (вологість, зерновий склад, вміст глинястої складової, температура), а термічна стійкість дозволяє отримувати виливки із сталей без утворення поверхневих дефектів. В лабораторії отримані виливки з вуглецевої сталі, які мають задовільну якість.

Література:

1. Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. и др. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
2. Дорошенко С.П., Авдокушин В.П., Русин К., Мацашек И. Формовочные материалы и смеси. – К.: Вища школа, 1980. – 416 с.

3. Дорошенко С.П. Взаємодія піщаної форми з виливком. – К.: НМК ВО, 1991. – 76 с.

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

Лютий Р.В., Левіцька Т.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ У ТОНКОСТІННИХ ФОРМАХ

Дослідження процесів теплової взаємодії виливків із ливарними формами завжди є актуальними. Це пояснюється різноманітністю ливарних сплавів, формувальних матеріалів та постійним удосконаленням технологій. Як результат забезпечується можливість прогнозування утворення пригару та інших поверхневих дефектів, ймовірності повторного застосування оборотної суміші, забезпечення направленої твердіння виливків.

Більшість задач стосовно процесів теплової взаємодії виливків із формами на сьогодні вирішені. Але це стосується лише традиційних процесів виготовлення виливків – у товстостінних об'ємних формах або металевих формах (кокілях).

В теперішній час активно застосовують процеси отримання виливків у тонкостінних, оболонкових, керамічних формах, використовують різноманітні покриття робочої поверхні форми (для захисту від пригару, для теплоізоляції, для поверхневого легування). В цих випадках також важливо виконувати адекватні точні розрахунки, які відображають умови прогрівання подібних тонкостінних елементів форми.

Для проведення таких розрахунків необхідно правильно задавати початкові умови. Наприклад, при вирішенні ряду задач приймають початкову температуру поверхні форми рівною температурі розплаву, що з фізичної точки зору неможливо. Будь-який матеріал, в тому числі і ливарна форма, на нагрівання або охолодження до певної температури потребує певного часу. Визначення інтервалу часу, за який поверхня форми або покриття нагріваються до заданої температури, є важливою задачею. При її розв'язанні може бути використаний метод Стефана – Шварца (за інтегралом ймовірності Гаусса) або запропонований нами метод вирішення критеріального рівняння Фур'є:

$$\frac{q}{q_0} = f(Fo; \frac{x}{\delta}), \quad (1)$$

де $v_0 = t_{\text{вил}}^{\text{пов}} - t_{\text{ф}}^{\text{вн}}$ (різниця між початковими температурами поверхонь виливка і форми), °С;

$v = t_{\text{вил}}^{\text{пов}}(\tau) - t$ (різниця між температурою поверхні виливка і форми в момент часу τ), °С;

x – глибина поверхневого шару форми, на якій визначають зміну температури, мм;

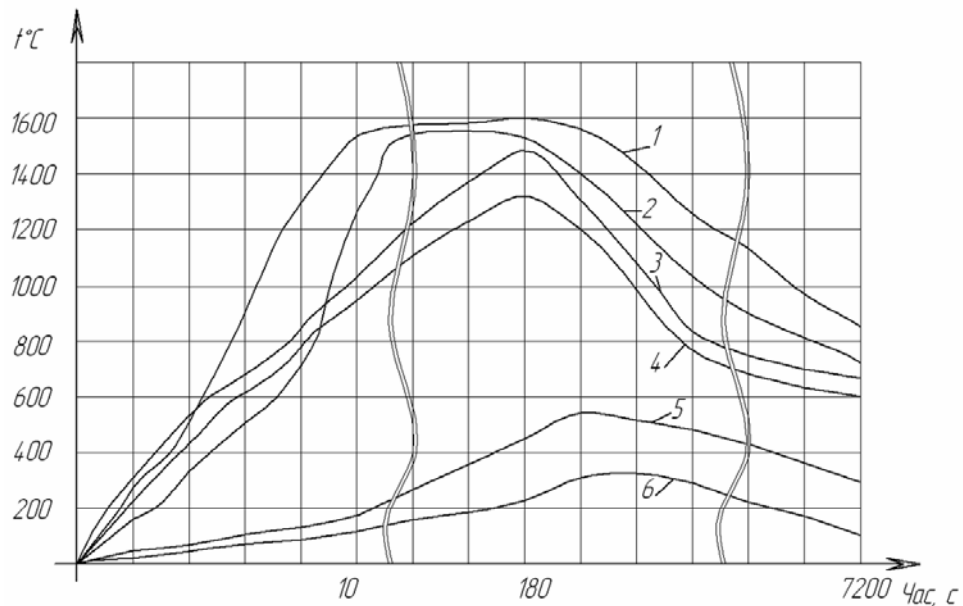
δ – загальна товщина форми, мм;

F_0 – критерій Фур'є, який залежить від теплопровідності матеріалу форми.

Згідно рівняння Фур'є, тривалість вирівнювання температури поверхонь форми і вилівка залежить лише від теплофізичних властивостей форми та не залежить від її початкової температури та температури сплаву. На перший погляд, це малоймовірно, але практичні дані (рис. 1, рис. 2) підтверджують дане припущення.

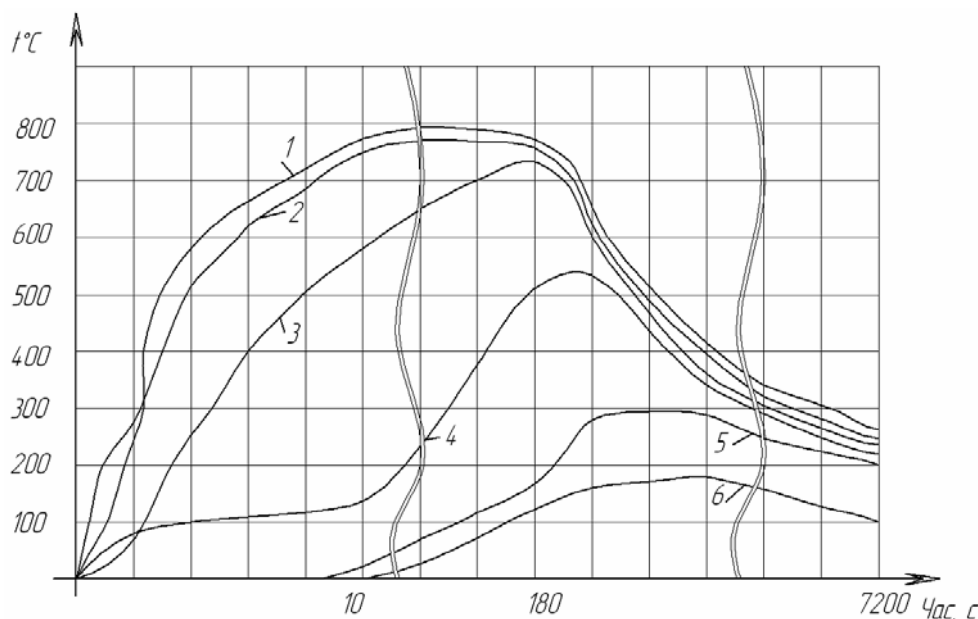
Форма, виготовлена із суміші на основі рідкого скла, прогривається на поверхні при заливанні сталлю 25Л до максимальної температури протягом 180 с. При заливанні такої ж форми сплавом, на основі алюмінію АК7, поверхня нагрівається до максимальної температури протягом того ж самого часу. Тобто при заливанні різних сплавів із різними температурами та теплофізичними властивостями у формі отримуємо однаковий характер кривих нагрівання.

Тому вважаємо, що для точного розрахунку температурних полів у формах спочатку необхідно визначити тривалість максимального прогрівання поверхні (за рівнянням Фур'є), а потім встановити кінетику зміни температури за методом Стефана – Шварца. Поєднання цих методів наближає теоретично отримані дані до реальних умов.



1 – у вилівку на глибині 25 мм; 2 – у вилівку на глибині 5 мм; 3 – на поверхні розділу метал-форма; 4 – у формі на глибині 2 мм; 5 – у формі на глибині 10 мм; 6 – у формі на глибині 30 мм

Рис. 1 – Експериментально визначена зміна температур вилівка (сталь 25Л, температура заливання 1630°C) та ливарної форми (суміш з рідким склом)



1 – у виливку на глибині 25 мм; 2 – у виливку на глибині 5 мм; 3 – на поверхні розділу метал-форма; 4 – у формі на глибині 2 мм; 5 – у формі на глибині 10 мм; 6 – у формі на глибині 30 мм

Рис. 2 – Експериментально визначена зміна температур виливка (сплав АК7, температура заливання 800°C) та ливарної форми (суміш з рідким склом)

Лютий Р.В., Мельниченко Д.С., Аді Б.Х.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНІВ НА ОСНОВІ ФОСФОРНИХ СОЛЕЙ НАТРІЮ І АЛЮМІНІЮ В ГАРЯЧОМУ ОСНАЩЕННІ

Аналіз літературних джерел показує, що для отримання сталевих виливків більш доцільним є використання сумішей з неорганічними зв'язувальними компонентами. Але досягти стабільно високого рівня властивостей цих сумішей поки не вдається. Відомо, що цілий ряд неорганічних зв'язувальних компонентів представляють собою солі ортофосфорної кислоти, при чому дані суміші можуть бути як холоднотвердні, так і зміцнюватись при нагріванні. Розвиток науки про ливарну форму пішов по першому шляху – холоднотвердні суміші з ортофосфорною кислотою, в той час, як вони мають нестабільний склад, потребують дефіцитних компонентів, а утворені кристалогідрати підвищують гігроскопічність форм. Цих недоліків позбавлені суміші, які зміцнюються при нагріванні (в гарячому оснащенні). В такому разі основною задачею стає вибір недефіцитних матеріалів, які при взаємодії з ортофосфорною кислотою при нагріванні давали б міцний зв'язувальний компонент.

В роботі проаналізований ряд неорганічних сполук (солей) металів, які мають поширення у ливарному виробництві, але ще не були застосовані як компоненти подібних сумішей. Із загального числа виділені FeSO_4 , NaNO_3 ,

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Всі вони застосовуються як компоненти сумішей (каталізатори та інгібітори зміцнення, окиснювачі тощо). Деякі з них проявляють зв'язувальні властивості і використовуються в протипригарних фарбах.

Дослідження проводили наступним чином. До складу кожної суміші вводили по 3% ортофосфорної кислоти, 3% однієї із вказаних солей та 2% води. Основу суміші складав Дніпровський кварцовий пісок $2\text{K}_5\text{O}_2\text{O}_3$. Із сумішей виготовляли стандартні циліндричні зразки для визначення міцності на стиск, які витримували при температурах 100°C , 150°C і 200°C протягом 1 год, а також при нормальній температурі в умовах лабораторії протягом 24 год. Результати визначення міцності представлені на рис. 1.

Найвищу міцність при взаємодії з кислотою забезпечує NaNO_3 , який утворює водорозчинну фосфорну сіль, і ця сіль проявляє найкращу адгезію до наповнювача. В інших сумішах утворюються фосфорні солі заліза, натрію та алюмінію. Ймовірно, ці солі за своєю структурою наближені до тих, які утворюються у відповідних ХТС. За властивостями суміші також наближені до згаданих ХТС, але містять порівняно меншу кількість зв'язувального компонента та зміцнюються протягом невеликого терміну в оснащенні.

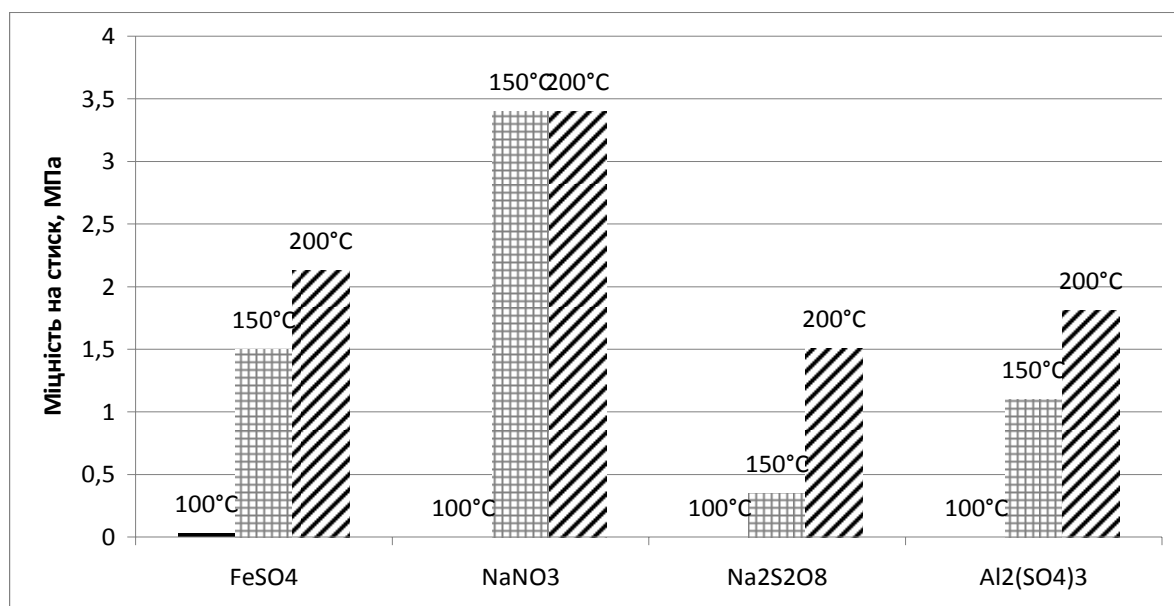


Рис. 1 – Залежність міцності стрижневих сумішей з різними солями металів від температури

Найбільший інтерес для розроблення технології виготовленні стрижнів у гарячому оснащенні становлять такі сполуки як NaNO_3 і $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Нітрат натрію – через максимальну міцність суміші при відносно невеликій температурі 150°C . Сульфат алюмінію є вже відомим зв'язувальним компонентом, але властивості суміші з ним при додаванні ортофосфорної кислоти значно вищі.

Питання оптимізації складу даних сумішей вирішуються зараз на кафедрі.

Лютий Р.В., Набока В.О.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУР В КОНТАКТНІЙ ЗОНІ ВИЛИВКА З ЛИВАРНОЮ ФОРМОЮ ПІД ЧАС КРИСТАЛІЗАЦІЇ

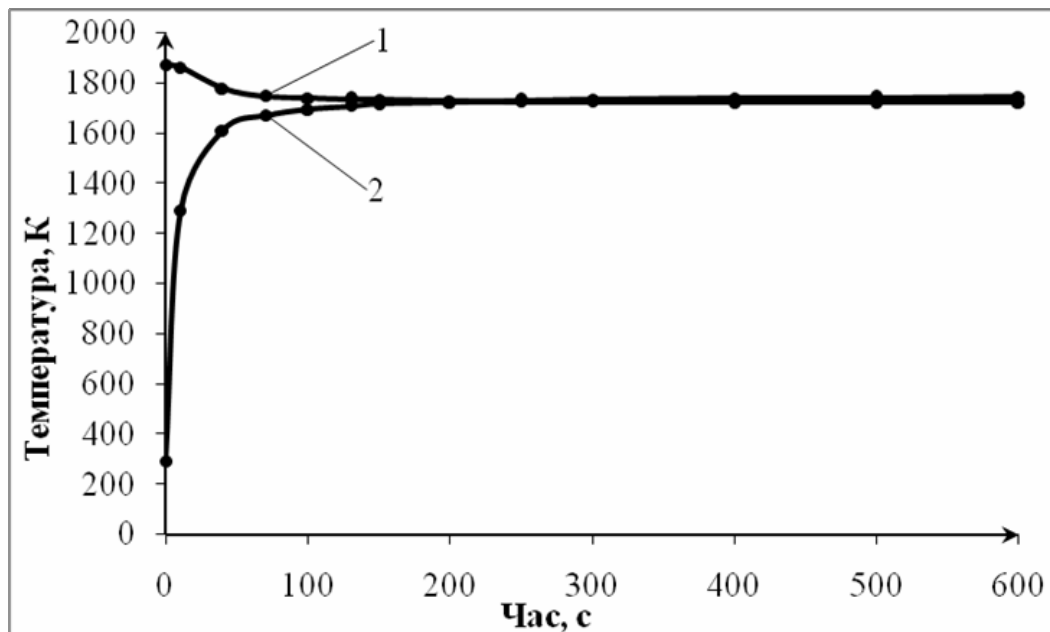
Дослідження та розрахунки теплових процесів у ливарних формах та у виливках не втрачають своєї актуальності. Це пов'язано із розвитком нових технологій і способів литва, застосуванням більш сучасних формувальних і стрижневих сумішей, необхідністю підвищення якості готових виливків.

Розрахунок температурних полів у виливках та формах дає змогу оцінити можливості створення направленої твердіння, живлення виливків, а також спрогнозувати процеси поверхневої взаємодії виливка і форми. Інтенсивність теплової взаємодії залежить, в першу чергу, від теплофізичних властивостей металу та використаної суміші, а вони для різних сумішей можуть відрізнятися на порядок.

Крім звичайних (товстостінних) ливарних форм, поширюються технології виготовлення виливків у тонкостінних, оболонкових, керамічних формах, теплові процеси у яких є найменш дослідженими, і тому брак литва при використанні таких форм є відносно високим. Серед методів розрахунку температурних полів найбільш відомими є метод Стефана – Шварца та метод кінцевих різниць. При першому методі температури контакту поверхні метал-форма, виливка на різній глибині та форми на різній відстані від поверхні контакту визначаються за допомогою інтеграла ймовірності Гаусса. Другий метод заснований на розділенні виливка і форми на окремі рівностінні шари з подальшим знаходженням температур на межах цих шарів через певні однакові інтервали часу. Обидва методи, на наш погляд, мають певні недоліки – такі, як:

- використання поняття «коефіцієнт твердіння», який має досить приблизне значення;
- неврахування залежності теплофізичних властивостей форми і виливка від температури;
- приблизне визначення температури контактної поверхні метал-форма;
- зниження точності розрахунку внаслідок неврахування процесу переходу металу в твердо-рідкий та твердий стан, тобто виділення теплоти при кристалізації.

В своїй роботі ми розраховували температурні поля у виливку та поверхневому шарі ливарної форми, виготовленої із керамічної суміші. Розрахунок проводили за методом Стефана – Шварца для сталі з початковою температурою 1600°C, взявши значення коефіцієнта твердіння 0,0010 та 0,00018 м/с^{1/2}. Для другого варіанту провели також розрахунки методом кінцевих різниць. Результати представлені на рис. 1, 2.



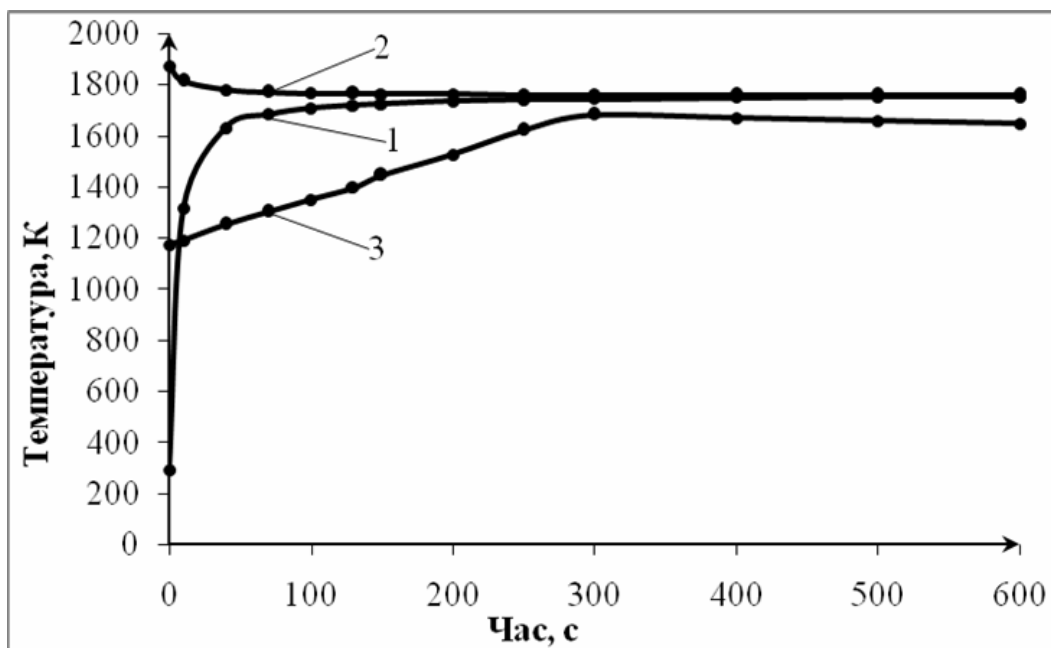
1 – температура виливка на відстані 50 мм від поверхні; 2 – температура форми на відстані 6 мм від поверхні

Рис. 1 – Температурні поля у виливку і керамічній формі (коефіцієнт твердіння $(0,0010 \text{ м/с}^{1/2})$), визначені за методом Стефана – Шварца

Як видно, метод Стефана – Шварца дозволяє прослідкувати зміну температури форми в перші моменти контакту з рідким металом (див. рис. 1 – крива 2; рис. 2 – крива 1) і до зрівняння температур форми і виливка. Після цього розрахункова температура форми є вищою за температуру виливка, що в реальності малоімовірно.

Метод кінцевих різниць може дати точні результати тільки при виборі дуже малих інтервалів часу, але і в цьому випадку зміна температури вважається лінійною (див. рис. 2, крива 3), що також не відповідає дійсності. Але після прогрівання форми за невеликого градієнту температур всередині неї метод дає більш точні результати.

При цьому жоден із методів не дає можливості розрахувати зміну температури робочої поверхні форми, що представляє найбільший інтерес. Отже, для формування повної картини необхідно розробити аналітичну методику точного встановлення зміни температури робочої поверхні форми. Щодо визначення розподілу температур по товщині форми, доцільно використовувати комбінацію методів Стефана – Шварца і кінцевих різниць.



1 – температура форми на відстані 6 мм від поверхні; 2 – температура виливка на відстані 25 мм від поверхні; 3 – температура форми на відстані 6 мм від поверхні, розрахована за методом кінцевих різниць

Рис. 2 – Температурні поля у виливку і керамічній формі (коефіцієнт твердіння $(0,00018 \text{ м/с}^{1/2})$, визначені за методом Стефана – Шварца (криві 1, 2) та за методом кінцевих різниць (крива 3)

Малинов В.Л.

(ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь)

**НОВЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ И УПРОЧНЯЮЩИЕ
НАПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ ТЕХНОЛОГИИ**

malinov.v.l@gmail.com

В основу разработки новых наплавочных материалов различных структурных классов и назначения положен принцип, в соответствии с которым наиболее рациональный структурно-фазовый состав необходимо обеспечивать для конкретных условий эксплуатации, создавая многофазную структуру, одной из основных составляющих которой является метастабильный аустенит. Его следует получать наряду с бейнитом, мартенситом, карбидами, карбонитридами и другими структурами. Их сочетания могут быть самыми разнообразными. При этом важно управлять количеством аустенита в структуре и развитием динамических деформационных мартенситных превращений (ДДМП), оптимизируя их применительно к конкретным условиям изнашивания. Основываясь на этой концепции, разработаны инновационные экономнолегированные электродные материалы на Fe-Mn-C и Fe-Mn-Cr-C основах различных структурных классов с эффектом самотрансформации (в том числе, самозакалки) при охлаждении и нагружении, обладающие хорошей технологичностью и повышенной износостойкостью, а также упрочняющие наплавочный металл технологии.

Показано, что в условиях сухого трения желательнее иметь не менее 20...30% метастабильного аустенита, практически полностью превращающегося в мартенсит деформации, а в условиях контактно-усталостного воздействия – не менее 50% аустенита, и прирост мартенсита деформации на изнашиваемой поверхности 20...40%. Получение остаточного метастабильного аустенита в структуре низкоуглеродистого высокохромистого наплавленного металла, дополнительно легированного марганцем, повышает его сопротивление образованию холодных трещин. Это позволяет уменьшать температуру предварительного подогрева или исключить его. Методом регрессионного анализа установлены математические зависимости влияния содержаний легирующих элементов в наплавленном металле на Fe-Cr-Mn-V-C основе на фазовый состав, твердость и износостойкость в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания. В широком диапазоне варьирования содержаний углерода, хрома и марганца для высокоуглеродистого хромомарганцевого наплавленного металла, содержащего Nb, V, Ti, установлена взаимосвязь между количеством аустенита, его стабильностью и износостойкостью в различных условиях изнашивания (абразивного, ударно-абразивного) и технологической прочностью. Показано, что легирование ниобием в сравнении с ванадием обеспечивает большую технологическую прочность высокоуглеродистого наплавленного металла с аустенитнокарбидной структурой, а также меньшую величину раскрытия трещин в нем, что существенно для деталей, работающих в условиях газоабразивного износа.

Предложена термическая обработка наплавленного низкоуглеродистого металла бейнитного или мартенситного классов, включающая нагрев в межкритический интервал температур $A_{c1}...A_{c3}$ (МКИТ), выдержку с последующим охлаждением на воздухе взамен обычно применяемого отжига с нагревом ниже A_{c1} . Предложенная термообработка позволяет получить многофазную структуру с метастабильным аустенитом, что обеспечивает реализацию ДДМП и повышенную износостойкость. Разработан способ поверхностной пластической деформации (ППД) аустенитного наплавленного металла, активизирующий последующее ДДМП и повышающий износостойкость в 1,5 раза. Показано, что существенное увеличение износостойкости малоуглеродистого наплавленного металла на Fe-Mn-C и Fe-Mn-Cr-C основах может быть реализовано последующей цементацией, в результате которой образуется оптимальное количество аустенита требуемой стабильности для конкретных условий изнашивания. Широкое применение новых наплавочных материалов и упрочняющих технологий для реновации изделий обеспечит значительное ресурсосбережение.

Малинов Л.С., Бурова Д.В., Гоманюк В.Д.

(ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь)

**СВОЙСТВА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ
СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ С НАГРЕВОМ В
МЕЖКРИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР (МКИТ)**

leonid-malinov@yandex.ru

Обычно среднеуглеродистые низколегированные стали для получения у них хорошего сочетания прочностных свойств, пластичности и ударной вязкости подвергают улучшению или изотермической закалке. При этом нагрев под закалку осуществляют в аустенитную область с небольшим превышением A_{c3} . Однако есть альтернативный путь получения хорошего комплекса механических свойств при меньшем расходе энергоносителей. Это достигается созданием в сплавах многофазной структуры, одной из основных составляющих которой является метастабильный аустенит, претерпевающий деформационное мартенситное превращение. Объектом исследования служили стали 45Г, 40ХН и 40ХН2МА. Температура нагрева под закалку варьировалась от 750 до 820°С. Время выдержки в МКИТ составляло 1 ч. Отпуск проводился при 530°С 1 ч. Осуществлялась также изотермическая закалка из МКИТ при 350°С с выдержкой 1 ч. Во всех случаях полученные механические свойства сравнивались с таковыми после термообработки по типовому режиму с нагревом под закалку в аустенитную область. В работе применялись металлографический, дюрOMETрический анализы, определялись механические свойства при растяжении, а также ударная вязкость.

Несмотря на различие химсостава исследованных сталей, в них проявляются общие закономерности. Установлено, что, чем выше температура нагрева в МКИТ (при одной и той же выдержке), тем выше прочностные свойства и ниже пластичность и ударная вязкость. Повышение температуры нагрева в МКИТ увеличивает количество аустенита перед охлаждением, но снижает в нем содержание углерода и степень его легированности. При проведении закалки из МКИТ достигается несколько более низкий уровень прочностных свойств, чем после обычной закалки с нагревом выше A_{c3} , но при этом обеспечивается более высокая пластичность и ударная вязкость. Для каждой стали необходимо подбирать режим нагрева в МКИТ под закалку, при котором после отпуска может быть получен хороший комплекс механических свойств, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к стали определенного химического состава. Снижение температуры высокого отпуска закаленных из МКИТ сталей позволяет получить в них такой же уровень механических свойств, как и после улучшения по типовому режиму с закалкой из аустенитной области.

Применение изотермической закалки с нагревом в МКИТ, переохлаждением до определенной для каждой стали температуры в воде и оптимальной выдержкой при ней в печи по сравнению с улучшением позволяет исключить высокий отпуск и получить в исследованных сталях повышенные характеристики пластичности при более высоком уровне прочностных

свойств. Эффективным оказался режим термообработки, заключающийся в изотермической закалке из МКИТ с предварительной аустенитизацией. Достоинством использованного способа изотермической закалки явилось отсутствие расплава неэкологичных солей. Рационально нагревать стали в МКИТ на температуру, не ниже, чем на $A_{c1} + (30...50)^\circ\text{C}$. Для каждой стали существует оптимальный режим нагрева в МКИТ и изотермической выдержки в бейнитном интервале температур, обеспечивающий наиболее благоприятный уровень механических свойств. Так, например, сталь 40ХН2МА после изотермической закалки с нагревом в МКИТ (750°C , 1 ч) и изотермической выдержке при 350°C , 1 ч, имеет следующие механические свойства: $\sigma_B=1011$ МПа, $\sigma_T=910$ МПа, $\delta=19\%$, $\psi=48\%$. В то же время после улучшения по типовому режиму при несколько более низких прочностных свойствах относительное удлинение составляет 12%. Приведенные выше способы термообработки с нагревом в МКИТ легко реализуемы в условиях производства и позволяют обеспечить энергосбережение.

Малинов Л.С., Бурова Д.В., Богданова Т.В.

(ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь)

**МАРГАНЦОВИСТЫЕ И ХРОМОМАРГАНЦОВИСТЫЕ СТАЛИ,
ЧУГУНЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭФФЕКТ САМОЗАКАЛКИ ПРИ
ОХЛАЖДЕНИИ И / ИЛИ НАГРУЖЕНИИ**

leonid-malinov@yandex.ru

Большинство сталей, чугунов специального назначения содержат в своем составе дорогой и дефицитный никель. Важным направлением ресурсосбережения является его замена марганцем, залежами руд которого богата Украина. Автором предложено и развивается новое перспективное научное направление, заключающееся в том, что разработка экономнолегированных безникелевых сплавов и упрочняющих технологий основывается на получении многофазных структур и реализации эффекта самозакалки при охлаждении и/или нагружении. Предложен и реализован принцип, согласно которому в сплавах различных структурных классов и назначения необходимо наряду с другими составляющими получать метастабильный аустенит, претерпевающий деформационные мартенситные превращения. Важно регулировать количественное соотношение структурных составляющих и развитие этих превращений с учетом исходных химического и фазового составов, а также условий нагружения и требований к свойствам материала. Это позволяет при экономном легировании обеспечить высокий уровень механических, служебных и технологических свойств. На развитие структурных и фазовых превращений при нагружении расходуется значительная часть энергии внешнего воздействия и, соответственно, меньшая ее доля идет на разрушение. Основными структурными составляющими, обладающими наибольшей энергоемкостью, на основе которых следует создавать экономнолегированные сплавы, должны быть: мартенсит, нижний бейнит, метастабильный аустенит, карбиды, карбонитриды, интерметаллиды. Их количественное соотношение выби-

рается применительно к конкретной задаче. С учетом этого обоснован выбор структурных классов, на основе которых следует создавать экономнолегированные безникелевые сплавы различного назначения. Перспективными являются марганцовистые стали мартенситного класса, в которых эффект самозакалки реализуется при охлаждении. Содержание в них углерода не более 0,15%, введение V, Ti, Nb, Al, а также получение остаточного и (или) вторичного аустенита (при нагреве и выдержке в межкритическом интервале температур) позволяет обеспечить им высокий уровень механических свойств, получаемый в никельсодержащих сталях. Они обладают высокой прокаливаемостью, не склонны к трещинообразованию и короблению при закалке, осуществляемой на воздухе.

Созданы новые высокопрочные безникелевые мартенситно-аустенитные стали, имеющие высокий уровень механических свойств. Они обладают хорошей технологичностью и повышенной усталостной прочностью.

Перспективными являются стали с 16...25% Mn. В них реализуется $\gamma \rightarrow \epsilon$ превращение, благодаря которому происходит упрочнение и самопроизвольная релаксация напряжений, исключая необходимость последующего отпуска. Их дополнительное легирование хромом, алюминием или медью позволяет использовать эти материалы для криогенной техники.

Разработаны хромомарганцевые метастабильные аустенитные стали, которые по механическим свойствам и износостойкости превосходят аналоги, содержащие никель. Они показали свои большие преимущества при кавитационном, гидро- и газоабразивном воздействии.

Показало большую перспективность использование сталей, содержащих в 1,5...2,0 раза меньше марганца, чем известная 110Г13Л, и превосходящих её по абразивной износостойкости. Это является следствием реализации эффекта самозакалки при нагружении в процессе эксплуатации. Еще более высокую абразивную износостойкость имеют экономнолегированные чугуны на Fe-Cr-Mn-C основе с метастабильным аустенитом. Благодаря динамическому мартенситообразованию они не уступают в этом отношении более дорогому Сормайту-1, а также значительно превосходят в этом отношении сталь 110Г13Л.

Малинов Л.С., Бурова Д.В., Богданова Т.В.

(ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ С НАГРЕВОМ В МЕЖКРИТИЧЕСКИЙ ИНТЕРВАЛ ТЕМПЕРАТУР (МКИТ) НА ИХ СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

leonid-malinov@yandex.ru

В работе изучено влияние термической обработки с нагревом в МКИТ строительных сталей 09Г2С и ЕН36. Первая сталь поставляется потребителям в горячекатаном или нормализованном состоянии, вторая – после контролируемой прокатки. В ряде случаев их подвергают улучшению. Следует

отметить, что нагрев при нормализации или под закалку при улучшении проводится выше A_{c3} . Эти термообработки с нагревом в МКИТ, как правило, не реализуются. Нормализация сталей 09Г2С и ЕН36 с нагревом и выдержкой в МКИТ по рациональному режиму (780°C , 60 мин) позволяет получить более высокий уровень механических свойств, чем после нормализации с нагревом на 920°C в аустенитную область. Так у стали ЕН36 после нормализации с нагревом в МКИТ (780°C , 60 мин) получены следующие механические свойства: $\sigma_{0,2} = 375$ МПа, $\sigma_B = 500$ МПа, $\delta = 33\%$, $\psi = 67\%$, $KCU = 1,9$ МДж/м², а после нормализации по типовому режиму: $\sigma_{0,2} = 352$ МПа, $\sigma_B = 448$ МПа, $\delta = 27\%$, $\psi = 64\%$, $KCU = 1,5$ МДж/м². Кратковременная аустенитизация после выдержки в МКИТ позволяет получить еще более высокие прочностные свойства, чем нормализация из МКИТ, при сохранении повышенной пластичности и ударной вязкости: $\sigma_{0,2} = 389$ МПа, $\sigma_B = 550$ МПа, $\delta = 29\%$, $\psi = 68\%$, $KCU = 1,7$ МДж/м². Нагрев и выдержка в МКИТ существенно уменьшают полосчатость, имевшуюся в исходном состоянии. Повышение температуры в интервале МКИТ снижает прочностные характеристики исследованных сталей после нормализации. Закалка исследованных сталей из МКИТ с температур $A_{c3} - (30 \dots 50)^{\circ}\text{C}$ позволяет получить уровень механических свойств, близкий к таковому у исследованных сталей после улучшения. С повышением температуры нагрева под закалку в МКИТ при постоянной выдержке прочностные свойства возрастают, а пластичность и ударная вязкость снижаются из-за увеличения в структуре количества мартенсита и снижения доли феррита. Увеличение выдержки с 30 до 90 мин. при выбранной температуре в МКИТ снижает прочностные свойства и неоднозначно влияет на пластичность и ударную вязкость. Могут быть выбраны режимы нагрева и выдержки в МКИТ, обеспечивающие прочностные свойства, более высокие, чем после улучшения (закалка из аустенитной области и высокий отпуск), и сохраняющие пластичность и ударную вязкость на том же уровне. Например, у стали 09Г2С после улучшения (закалка с 920°C , отпуск 600°C 1 ч) получены следующие механические свойства: $\sigma_{0,2} = 519$ МПа, $\sigma_B = 589$ МПа, $\delta = 18\%$, $\psi = 68\%$, $KCU = 1,4$ МДж/м², а закалка из МКИТ позволила получить: $\sigma_{0,2} = 675$ МПа, $\sigma_B = 884$ МПа, $\delta = 17\%$, $\psi = 68\%$, $KCU = 1,5$ МДж/м². Это дает возможность отказаться от проведения отпуска в случае закалки из МКИТ и снизить энергозатраты при термообработке. Кратковременная аустенитизация после выдержки в МКИТ при проведении закалки так же, как и при нормализации, повышает прочностные характеристики и сохраняет на требуемом уровне пластичность и ударную вязкость. Так у стали после закалки по режиму: нагрев на 780°C , выдержка 1 ч, нагрев на 920°C , выдержка 5 мин., охлаждение в воде получены следующие механические свойства: $\sigma_{0,2} = 733$ МПа, $\sigma_B = 908$ МПа, $\delta = 18\%$, $\psi = 62\%$, $KCU = 1,4$ МДж/м², а после закалки из МКИТ без дополнительной аустенитизации они таковы: $\sigma_{0,2} = 628$ МПа, $\sigma_B = 805$ МПа, $\delta = 15\%$, $\psi = 59\%$, $KCU = 1,4$ МДж/м².

Изотермическая закалка из МКИТ исследуемых сталей проводилась из МКИТ с переохлаждением до 500°C и выдержкой при этой температуре до 1 ч с последующим охлаждением на воздухе. Она позволяет получить хоро-

шее сочетание механических свойств. Для стали EN36 они таковы: $\sigma_{0,2} = 503$ МПа, $\sigma_B = 615$ МПа, $\delta = 21\%$, $\psi = 76\%$, $K_{CU} = 1,6$ МДж/м². Близкий уровень свойств получен у стали 09Г2С.

Малинов Л.С.

(ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь)

**СПОСОБЫ ТЕРМООБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ
ПОЛУЧЕНИЕ В СТАЛЯХ И ЧУГУНАХ МНОГОФАЗНУЮ
СТРУКТУРУ С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ**

leonid-malinov@yandex.ru

Ресурсосбережение в настоящее время является одной из важнейших задач. Во многих случаях она решается повышением свойств за счет легирования дорогими элементами (Ni, Mo, V). Автором предложено и развивается альтернативное направление по использованию внутреннего ресурса самого материала, суть которого заключается в получении многофазной структуры (мартенсит, феррит, бейнит, карбиды, карбонитриды, интерметаллиды и их разнообразное сочетание), основной составляющей которых является метастабильный аустенит, и реализации эффекта самозакалки в процессе эксплуатации. В настоящее время в литературе нет однозначного мнения относительно влияния остаточного аустенита на механические и служебные свойства сталей и чугунов. Известно немало работ, отмечающих его отрицательную роль и предлагающих исключить присутствие остаточного аустенита в структуре или ограничить 10...15%. Однако, согласно нашим работам, чтобы он оказывал положительное влияние на механические свойства и износостойкость, его количество и стабильность необходимо оптимизировать применительно к конкретным условиям нагружения. Во многих случаях целесообразно скорректировать режимы проведения известных способов термообработки, т.к. они не позволяют получить требуемое количество и стабильность аустенита. Для увеличения количества аустенита в структуре закаленной стали, в ряде случаев следует повышать температуру аустенитизации (в том числе после некоторых видов ХТО) по сравнению с обычно принятой. Для легированных карбидообразующими элементами сталей и чугунов эта температура может составлять 950...1200°С. Полезно также использовать эффект стабилизации аустенита за счет уменьшения скорости охлаждения в интервале температур мартенситного превращения, выдержки в нем или несколько выше мартенситной точки. Образование аустенита по границам мартенситных реек существенно повышает пластичность и ударную вязкость. В ряде случаев получить остаточный аустенит в сплавах удастся применением термообработок, включающих нагрев в межкритический интервал температур, что не соответствует типовым технологиям термообработки многих конструкционных сталей. Разработана технология упрочнения, предусматривающая после выдержки в межкритическом интервале температур проведение изотермической закалки в бейнитной области. Хороший комплекс механиче-

ских свойств может быть получен за счет термообработки, включающей выдержки в межкритическом и/или подкритическом интервалах температур. В ряде случаев целесообразно после их проведения осуществлять кратковременный нагрев в аустенитную область, обеспечивающий завершение $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения, но исключающий гомогенизацию аустенита.

Показана важная роль в сталях и чугунах, подвергнутых изотермической закалке, не только бейнита, но и метастабильного аустенита, превращающегося при испытаниях свойств или эксплуатации в мартенсит деформации. Предложен способ изотермической закалки без применения расплавов солей. Близкие структуру и свойства обеспечивает прерванная закалка, включающая охлаждение в воде, и последующее охлаждение с определенной скоростью в бейнитном интервале.

Отпуск (старение), является важным средством регулирования количества и стабильности аустенита. После низкого отпуска в основном проявляется стабилизация (продолжительные выдержки могут привести к противоположному эффекту), а после высокого – дестабилизация аустенита (кратковременные выдержки могут в ряде случаев стабилизировать аустенит). Большие возможности для получения в структуре метастабильного аустенита и повышения износостойкости открывает химико-термическая обработка, а также применение источников концентрированной энергии. Для сталей различных структурных классов и назначения разработаны комбинированные обработки, на первом этапе которых следует получать повышенное количество метастабильного аустенита, а на втором – упрочнять его, сохранив оптимальное количество, а остальную часть превратить в мартенсит. В результате их проведения достигается получение хорошего сочетания прочностных свойств, пластичности и ударной вязкости.

Предложено и развивается перспективное направление по разработке упрочняющих технологий, создающих в сплавах регулярные градиенты структурно-фазового состояния, соизмеримые с размерами изделия. Им соответствует чередование в заданном порядке структур с различными свойствами. Целесообразным представляется получение чередования участков с преимущественно мартенситной и аустенитной структурами. Это дает возможность создавать мономатериалы, сочетающие в себе структуры, существенно различающиеся механическими и физическими свойствами.

Полученные данные показывают широкие возможности повышения или получения новых свойств у сталей и чугунов за счет применения упрочняющих технологий, использующих нестандартные режимы известных способов термообработок, позволяющие реализовать внутренний ресурс самих материалов. При их проведении применяется имеющееся на предприятиях оборудование, что не требует капитальных затрат. В ряде случаев необходима лишь незначительная корректировка режимов применяемой термообработки. В результате могут быть существенно повышены механические свойства и износостойкость сталей и чугунов, а, соответственно, долговечность изделий, изготовленных из них.

Реализация предложенной концепции должна быть эффективна и при разработке упрочняющих технологий и для сплавов на нежелезной основе, в которых возможно получение метастабильного твердого раствора и реализована его самотрансформация по мартенситному механизму или за счет двойникования при нагружении.

Мамишев В.А.

(ФТИМС НАН Украины, г. Киев)

СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

При затвердевании литых изделий обогащенный примесями расплав образует между дендритами или недендритными кристаллами двухфазной зоны ликвационные прослойки, снижая прочность и пластичность литого металла.

Так как градиенты температуры, скорости охлаждения и скорости затвердевания влияют на структуру отливок и слитков, то контролируя эти термовременные параметры процесса затвердевания, можно улучшить качество наружных и внутренних слоев литых изделий. С целью исключить образование литейных дефектов: окисных плен, макро- и микротрещин, усадочных раковин, газоусадочной пористости и рыхлости, ликвационных полос и шнуров, выполнен системный анализ [1] разных схем формирования отливок и слитков.

Для интенсификации теплоотвода от отливки в песчаную форму можно в стенках низкотеплопроводной формы размещать высокотеплопроводные коллекторы-теплоотборники. При этом в наружных слоях затвердевающих отливок образуется литой структурно-армированный каркас, что позволяет повысить конструктивную прочность литых деталей и уменьшить их толщину.

Выпуклые участки на рабочих поверхностях коллектора-теплоотборника каркасного типа образуют на поверхности затвердевающей отливки дискретно распределенные впадины отрицательной кривизны [2]. Вогнутые участки на рабочих поверхностях коллектора-теплоотборника образуют на поверхности отливки наружные ребра жесткости с положительной кривизной из профиля.

Более интенсивный теплоотвод от расплава к коллектору-теплоотборнику по сравнению с теплоотводом в песчаную форму образует в наружном слое отливки более толстые дискретные участки твердой корочки плотного металла. Это формирует в поверхностном слое отливки упрочняющие внутренние ребра жесткости с таким же, как у матрицы, коэффициентом теплового расширения.

С помощью системного анализа многофакторных неизотермических процессов суспензионного течения гетерогенного расплава в жидко-твердой части двухфазной зоны и фильтрационного течения расплава с ликвирующими легкоплавкими примесями в твердо-жидкой части двухфазной зоны выяв-

лена четкая взаимосвязь реотермических процессов литья с физико-химическими процессами равноосной и столбчатой кристаллизации сплавов в двухфазной зоне затвердевания отливок и слитков (кузнечных, прокатных и трубных).

Полученные результаты системного анализа реотермических процессов течения и теплопереноса в гетерогенной зоне двухфазного состояния сплавов, кристаллизующихся в температурном интервале ликвидус-солидус, позволили найти пути улучшения качества литых изделий разной массы и геометрии (отливок, слитков, заготовок непрерывного и центробежного литья). Это дало возможность теоретически обосновать технологические схемы гетеролитья.

При функционировании технологических схем гетеролитья реализуется четыре литейно-металлургических принципа повышения качества первичной структуры литых изделий. Это принципы суспензионной разливки, осадочной кристаллизации, направленного затвердевания и рафинирующей подпитки [1].

Системный анализ процессов формирования литых изделий показал, что процесс гетеролитья наиболее эффективен при совмещении суспензионной разливки в режиме осадочной кристаллизации с направленным затвердеванием в режиме рафинирующей подпитки. Схемы гетеролитья удобны для управления реотермическими процессами формирования литой структуры в гетерогенной системе расплав-кристаллы, что позволяет улучшить качество литых изделий разного назначения и повысить их конкурентоспособность на мировом рынке.

Литература:

1. Мамишев В.А. Реотермическая концепция управления кристаллическим строением литых изделий // Процессы литья. – 2004. – №3. – С. 43...48.
2. Мамишев В.А. О повышении эффективности теплообмена в системе “литая заготовка – форма – окружающая среда” // Металл и литье Украины. – 2012. – № 11. – С. 31...35.

Мініцька Н.В., Ткачук І.В.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**ВПЛИВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ
МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕНІ СВЕРДЕЛ**

НА ЇХ ЗНОШУВАННЯ

ulyasha30@bigmir.net

Формування показників якості різального інструменту (РІ) в значній мірі відбувається на фінішних етапах його виготовлення, коли формується мікрогеометрія поверхонь робочих елементів, доводяться до відповідних показників фізико-механічні властивості поверхневого шару. Досягнення заданих характеристик в сучасному виробництві забезпечується використанням спеціальних методів оброблення, які поєднують в собі комбінований вплив

на деталь різноманітних енергій. Одним з перспективних методів фінішного оброблення є магнітно-абразивне оброблення (МАО) у великих магнітних щілинах при їх кільцевому розташуванні.

Метою роботи є дослідити вплив магнітно-абразивного інструменту (МАІ) при МАО на зношування свердел.

Експлуатаційні дослідження свердел виконували при наскрізному свердлінні плити, виготовленої із Сталі 45 товщиною 30 мм при частоті обертання Π 1000 об/хв. і подачі 0,1 мм/об. Визначали величину зношування кутика свердел. Отримані результати наведено на рис. 1.

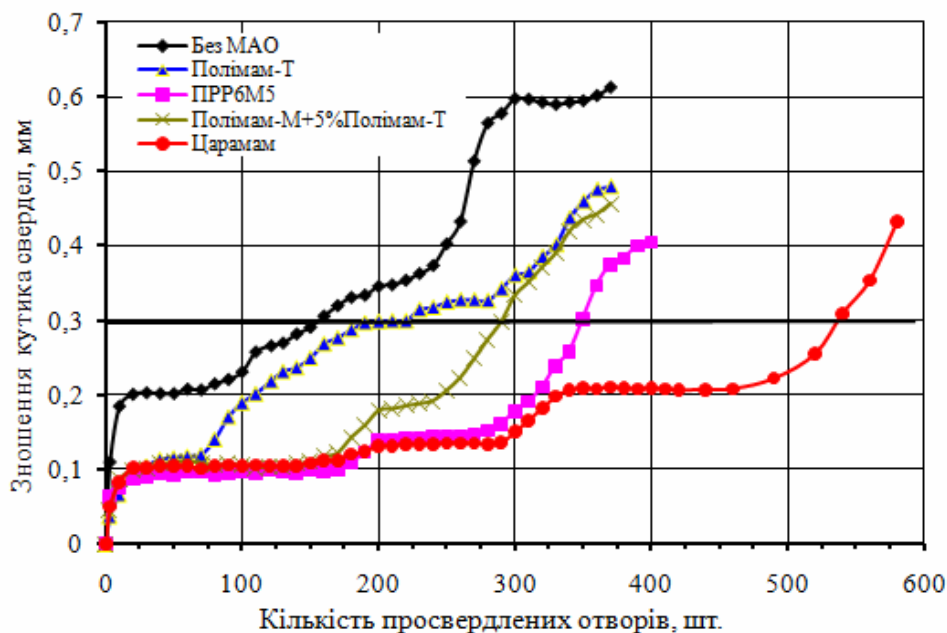


Рис. 1 – Зношування кутика свердел в залежності від кількості просвердених отворів

Показано, що процес припрацювання необроблених свердел відбувається до величини зношування на кутику, яка дорівнює 0,2...0,21 мм і в подальшому змінюється несуттєво до кількості отворів 90...100. Величина критичного зношування на кутику необроблених свердел – 0,3 мм формується після свердління 160 отворів, потім настає етап катастрофічного зношування.

У свердел, які піддавалися МАО, на кривій зношування спостерігаються дві площадки стаціонарного зношування – на рівні 0,1...0,12 мм та 0,2...0,21 мм; друга площадка аналогічна площадці стаціонарного зношування у необроблених методом МАО свердел. Свердла після МАО порошком Полімам-Т досягають величини критичного зношування 0,3 мм після свердління 230 отворів, сумішшю порошоків Полімам-М+Полімам-Т – 290 отворів, порошком ПР Р6М5 – 350 отворів. Найбільша працездатність притаманна свердлам, які оброблені методом МАО з використанням порошку Царамам – 540 отворів. Наявність двох квазістаціонарних площадок зношування, характерних для свердел після фінішного МАО, може

бути пов'язана з особливим станом поверхневого шару, який сформувався після МАО. Показано, що при різних умовах МАО свердел, які досліджували, зміна розподілення мікротвердості в поверхневому шарі характеризується наявністю двох підшарових максимумів, пов'язаних з особливостями взаємодії частинок МАІ з оброблюваними поверхнями, і як результат, із структурними змінами в поверхневому шарі матеріалу, які опосередковано пов'язані зі ступенем наклепу.

Міницький А.В., Караїмчук Є.С., Божко А.В.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ПОВЕРХНЕВЕ ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

minitsky@i.ua

Одним з ефективних методів підвищення якості залізовуглецевих сплавів, які використовуються при виготовленні конструкційних матеріалів, є поверхнева термічна обробка. Поряд з легуванням і модифікуванням вона дозволяє істотно підвищити міцнісні характеристики сплавів. У більшості випадків термічна обробка підвищує рівень експлуатаційних характеристик більш ніж на 50% зі значним техніко-економічним ефектом.

Проте в даний час термічна обробка порошкових залізовуглецевих сплавів проводиться недостатньо. Тому метою даної роботи є дослідження процесу поверхневого зміцнення порошкових сплавів системи залізо – вуглець.

Експериментальні дослідження проводили на зразках, що виготовлялися із суміші залізного порошку з добавками графіту в кількості 1, 2, 3,5 та 4,5%. Формування заготовок проводилося на гідравлічному пресі при тиску 700...800 МПа. Спікання спресованих зразків проводили у середовищі водню при температурі 1100°C з витримкою протягом 1 години.

Поверхнєве термічне оброблення залізовуглецевих сплавів проводили в електронно-променевої установці «ЭЛА-6». Перевагою електронно-променевого нагріву є можливість плавно та в широких межах змінювати потужність тепла, яке закладається, а також конфігурацію зони нагріву.

Дослідження мікротвердості по глибині зразків, з різною кількістю вуглецю, показав, що глибина зміцненого шару практично для всіх, складає біля 2 мм. Якщо розглянути зразки із вмістом вуглецю 3,5 та 4,5 %, тобто ті, які відповідають області чавунів, то мікротвердість поверхневих шарів складає 5,3 та 6,5 ГПа відповідно. Поступово мікротвердість починає знижуватись до 3,1 та 4,2 ГПа відповідно. Тобто після поверхневої обробки електронним променем мікротвердість на поверхні відрізняється в 1,5...1,7 разів від мікротвердості в середині зразка (рис. 1).

Відмінність мікротвердості, як по перетину зразка, так і в залежності від вмісту вуглецю, говорить про структурну неоднорідність отриманих матеріалів.

Мікроструктура зразків відрізняється в залежності від вмісту вуглецю. При вмісті вуглецю 1 та 2 % спостерігається типова структура заевтектоїдних сталей – зерна перліту оточені цементитною сіткою. При цьому спостерігається утворення мартенситних зерен, що говорить про гартування поверхні зразків внаслідок електронно-променевого оплавлення. Структура зразків із вмістом вуглецю 3,5% та 4,5 % відповідає структурі доевтектичних чавунів – наявні перлітні зерна, які оточені евтектикою ледебуриту.

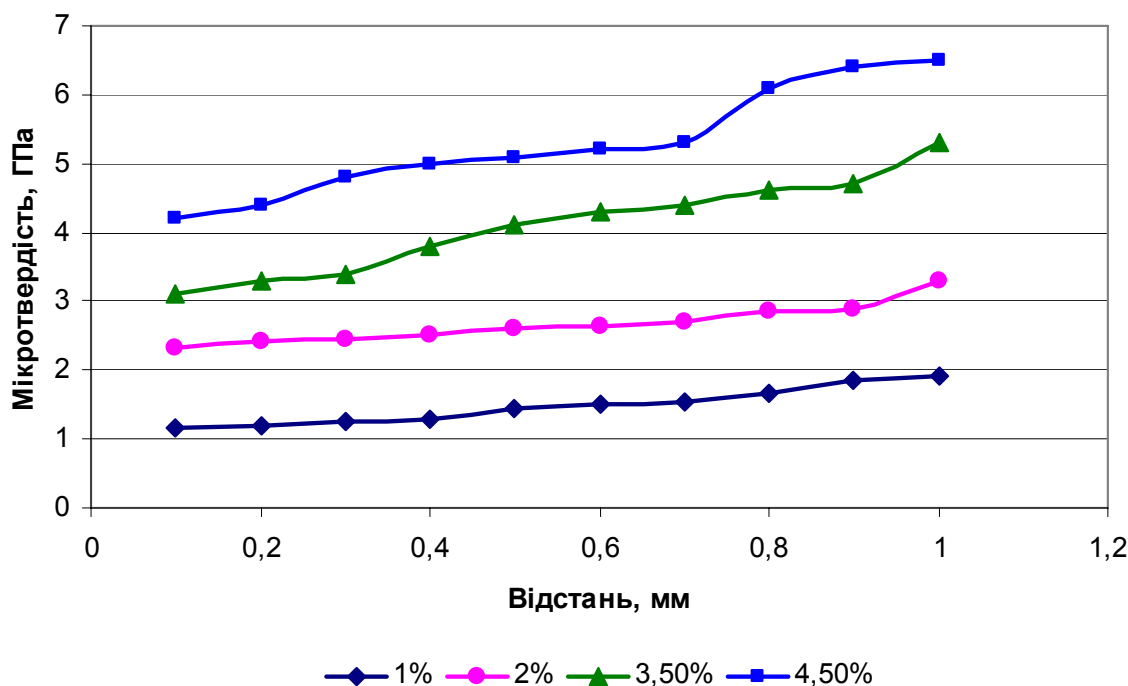


Рис. 1 – Залежність мікротвердості матеріалу на основі заліза з різним вмістом вуглецю від відстані від поверхні зразка

Таким чином, застосування поверхневої термічної обробки для порошкових матеріалів, може бути перспективним, з погляду створення нових конструкційних матеріалів з унікальними властивостями.

Могилатенко В.Г., Трамана М.В., Санькова Є.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВИБІР ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ З ПІНОАЛЮМІНІЮ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Термічне оброблення є потужним засобом дії на структуру і властивості алюмінієвих сплавів. Велика різноманітність структур, які можуть бути отримані в алюмінієвих сплавах після різного термічного оброблення, – результат різної міри відхилення сплавів від термодинамічного рівноважного стану при кімнатній температурі.

Для досягнення максимальної міцності термічно зміцнених сплавів необхідно за рахунок регламентованого нагрівання отримати деяку проміжну

структуру, яка відповідає початковим стадіям розпаду пересиченого твердого розчину.

Піноалюміній є відносно новим композиційним матеріалом. Технологія виготовлення саме фасонних виливків з піноалюмінію може бути використана в різних промислових галузях, зокрема в машинобудуванні можна застосовувати пористі демпфери, різного виду ударопоглинальні вставки в двері та кузов автомобілів, віброізоляційні кожухи та стрижні пружності.

Пориста структура піноалюмінію забезпечує цей матеріал унікальною комбінацією властивостей, які не характерні для монолітних матеріалів. Основними властивостями є: високий коефіцієнт поглинання енергії удару чи вібрації та мала вага виробів при достатньо високій міцності. Ці механічні властивості залежать від розміру, кількості та однорідності пор у виливку.

Додавання магнію суттєво впливає на процес спінювання алюмінієвих сплавів, тому що підвищується в'язкість розплаву, а це позитивно впливає на стабілізацію порового простору пористих виливків.

Зменшення густини алюмінієвого розплаву при додаванні магнію впливає на розподіл пор наступним чином: густина самого розплаву наближається до густини SiO_2 , а отже на ці частки не діє виштовхувальна сила, і вони розподіляються по всьому об'єму розплаву. Бульбашки газу, які знаходяться між піщинками, стабілізуються і не підіймаються у верхню частину виливка, а рівномірно розподіляються по всьому об'єму виливка. Сам розплав при цьому не стікає в нижню частину форми.

Чим ближча густина розплаву до густини речовини, яка заміщується, тим рівномірніше розподіляються пори. У випадку з магнієм покращення пористості відбувається лише за рахунок збільшення кількості пороутворювача, котрий засвоївся при замішуванні.

Додавання цинку має неоднозначний вплив на параметри виливків з піноалюмінію. Невеликі кількості цього елемента підвищують поруватість та покращують рівномірність розподілу густини по висоті виливка. Але подальше збільшення кількості цинку починає негативно впливати на ці параметри. Також у випадку з цинком збільшується похибка отриманих результатів, тобто вплив даного елемента має нестабільний характер.

При додаванні магнію 6% спостерігається зменшення кількості дрібних пор. При 18% магнію спостерігається зміщення розмірів пор до більших розмірів. Пори розміром 5 мм майже відсутні при будь-якій кількості магнію. Тобто додавання цього легувального елемента сприяє збільшенню однорідності порового простору.

При додаванні цинку спостерігається зменшення кількості пор, передусім за рахунок зменшення кількості дрібних пор (1...2 мм). Дана залежність є пропорційною до 2% цинку.

Було створено адекватні математичні моделі залежності параметрів пористих виливків від хімічного складу сплаву. За цими моделями визначено оптимальний хімічний склад сплаву для отримання однорідної пористої структури виливків, який відповідає 12...13% Mg, до 0,9% Zn, решта Al.

Для подальшого термічного оброблення, за цими даними було обрано сплав, який самозагартовується з наближеним хімічним складом, а саме 6,5% Mg, 4,5% Zn, решта Al.

Онiщук Р.С., Гурія І.М., Черниш С.В.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ФІЗИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ТА ПРОТОТИПІВ**
Amor_ors@ukr.net

В сучасних умовах процес створення ювелірних прикрас в електронному вигляді (рис. 1) являє собою поєднання професійних знань технологій тривимірного моделювання і високопрофесійну працю модельєра-професіонала. Це дозволяє створювати моделі майбутніх виробів та моделювати процес їх виготовлення заздалегідь до отримання фізичної моделі. Завдяки новітнім технологіям отримані комп'ютерні моделі втілюються у фізичні об'єкти (моделі), які мають задовольняти високим показникам якості та іншим умовам, які до них застосовуються.

3d-принтери забезпечуть створення тривимірних об'єктів шляхом накладання послідовних шарів різних матеріалів з різними механічними та фізичними властивостями за один процес.

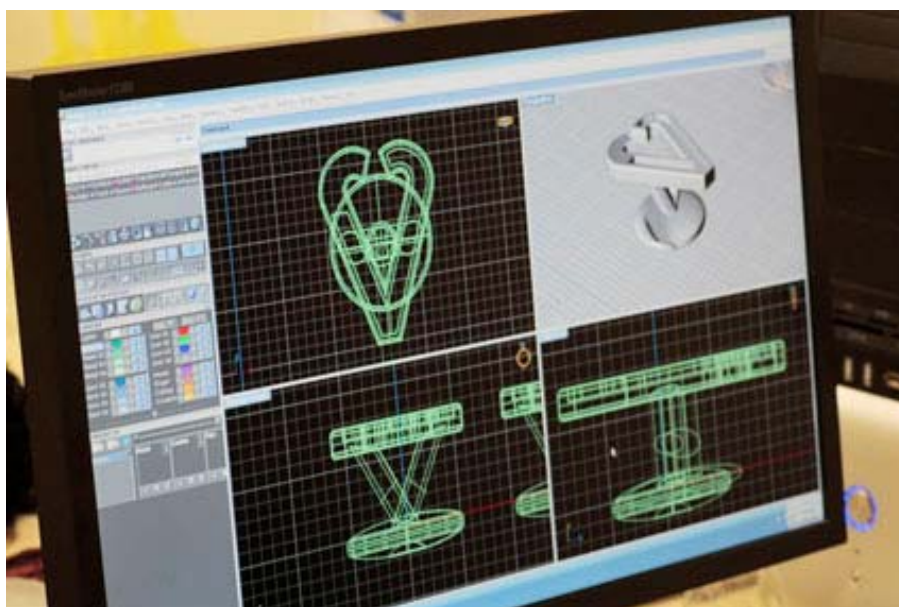


Рис. 1 – Розроблення 3d-моделі ювелірного виробу за допомогою програми Rhinoceros

Найпоширеніші технології швидкого прототипування, які використовуються в промисловості:

- стереолітографія (Stereolithography «SL, SLA, STL») – затвердження шару матеріалу під дією ультрафіолетового випромінювання;
- селективне лазерне спікання (Selective Laser Sintering «SLS») – порошковий матеріал пошарово спікають лазерним променем;

- моделювання плавленням (Fused Deposition Modeling «FDM») – матеріал (віск, пластик) нагрівають і подають в зону друку через головку екструдера;
- пошарове формування об'ємних моделей з листового матеріалу (Laminated Object Manufacturing «LOM») – попередньо розкромлений CO₂-лазером листовий матеріал пошарово склеюють нагрітим валиком;
- струменева полімеризація (Polyjet and Ployjet Matrix) – кожен шар рідкого фотополімеру полімеризується під дією ультрафіолетового випромінювання;
- Solid Ground Curing «SGC» – складний процес створення фотошаблону з наступним обробленням ультрафіолетом та подальшим фрезерним обробленням кожного шару смоли і воску.

Основні напрямки удосконалення даних технологій полягають в усуненні таких недоліків як: точність, шорсткість поверхні, шви між шарами, вузький інтервал матеріалів, які можна використовувати. Тому завдання є актуальним не тільки для ювелірного виробництва, а також інших галузей машинобудування.

Парфентьєв О.В., Ковальчук О.Г., Федоров Г.Є.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

МІКРОЛЕГУВАННЯ ХРОМОМАНГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ

Як зносостійкі матеріали, які працюють в умовах інтенсивного гідроабразивного зносу, часто використовують високохромисті чавуни, які містять у своєму складі дорогі та дефіцитні матеріали, такі як: мідь, молібден, нікель та ін. Дані чавуни не мають відносно високих механічних властивостей, мають підвищену здатність до утворення гарячих та холодних тріщин у виливках. Саме тому виникає цікавість щодо вивчення процесів легування, мікролегування, модифікування або технологічних процесів виготовлення виливків, термічного оброблення тощо з метою підвищення експлуатаційних характеристик сплавів.

Вивчено дію хрому на властивості хромомарганцевого чавуну в діапазоні його концентрацій від 4,5 до 30%.

Установлено, що суттєво покращуються експлуатаційні властивості при вмісті хрому 18...21%.

Досліджено вплив марганцю на твердість та зносостійкість хромистого чавуну.

Визначено, що кількість марганцю повинна знаходитись у межах 4,5...5,0%.

Таким чином, для одержання білих чавунів з високою зносостійкістю, вони мають вмістити в своєму складі від 18 до 20% хрому.

Досліджено вплив титану на характеристики хромомарганцевого сплаву. Враховуючи значну спорідненість титану до кисню, його вводили в сплав після розкислення рідкого металу алюмінієм. Підвищення концентрації титану до 0,1...0,5% сприяє покращанню механічних характеристик сплаву, по-

дальше підвищення кількості титану знижує як твердість так і зносостійкість. Хоча вони залишаються вищими за характеристики базового (290X19Г4) чавуну.

Вивчено дію ванадію на структуру та властивості чавуну в діапазоні концентрацій до 1%. Зі збільшенням вмісту ванадію в чавуні до 0,8% підвищуються твердість, мікротвердість і зносостійкість сплаву.

Отже, для підвищення властивостей базового 290X19Г4 чавуну, його доцільно додатково мікролегувати титаном або ванадієм у межах: 0,1...0,5% Ti, 0,5...0,8% V.

Таким чином, розроблено хромомарганцевий чавун марки 290X19Г4, який є більш дешевим, ніж ті, які використовувались раніше, та має кращі експлуатаційні характеристики. Для підвищення експлуатаційних властивостей даний чавун рекомендовано додатково мікролегувати титаном або ванадієм.

Прокопчук М.А., Тошева О.Ю., Кочешков А.С.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ТОЧНИХ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

Сутність лиття за моделями, що витоплюються, полягає в тому, що для одержання виливків застосовуються разові, точні нероз'ємні, керамічні оболонкові форми, виготовлені за разовими моделями з використанням рідких формувальних сумішей. Перед заливанням розплаву в форму модель видаляється з форми витопленням, для чого блок поміщають, ливниковою воронкою вниз, в термошафу з температурою 120...150°C або опускають у гарячу воду з температурою 90...95°C. Для видалення залишків моделі та зміцнення оболонкової форми (ОФ), форма прожарюється до 850...950°C. Нагрівання форми перед заливанням практично виключає її газотвірність і покращує заповнюваність розплавом [1].

Якість виливків і ефективність виробництва при литті за моделями, що витоплюються, залежать від стабільності технологічних режимів на всіх операціях цього процесу. Наприклад, відхилення в співвідношенні компонентів модельного складу, або температури його запресовування в прес-форми можуть призвести до браку моделей через усадку; порушення режимів гідролізу етилсилікату і зміна в'язкості суспензії – до браку оболонкових форм; відхилення режимів прожарювання від заданих – до браку форм і виливків. Утворення мікротріщин в ОФ є причиною браку виливків у вигляді утворення «гребінців» на тілі вилівка, та інших поверхневих дефектів.

За інформаційними джерелами можна виділити наступні групи дефектів точних виливків при литті за моделями, що витоплюються:

1. Поверхневі дефекти:

- підвищена шорсткість виливків;
- заливи, нарости, «гребінці».

2. Внутрішні дефекти:

- засмічення (відкриті або закриті порожнини в тілі виливка, заповнені матеріалом оболонкової форми);
- усадкові раковини і пористість;
- газові раковини.

3. Дефекти порушення геометричних розмірів та конфігурації виливка:

- нестабільність усадки модельного складу і деформації ОФ в процесі прожарювання.

4. Невідповідність хімічного складу і структури сплаву:

- відхилення в складі шихтових матеріалів, порушення режимів плавки сплаву і режимів охолодження виливка у формі [2].

Одним з основних технологічних факторів, які впливають на точність виливків при литті за моделями, що витоплюються, є ливниково-живильна система (ЛЖС), яка виконує функції колективного надливу, виключаючи утворення недоливів, і компенсації об'ємної усадки.

При виборі конструкції ЛЖС необхідно виконувати наступні принципи положення:

- забезпечувати принцип направленої кристалізації, тобто поступової кристалізації від найбільш тонких частин виливка через його масивні вузли і надливи;
- найбільш протяжні стінки розміщувати в формі вертикально, тобто найбільш сприятливо для їх надійного заповнення;
- створювати умови для економічного і механізованого виробництва виливків [3].

Література:

1. Озеров В.А. Литье по выплавляемым моделям. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1994. – 448 с.
2. Гини Э.Н., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Технологии литейного производства. Специальные виды литья. М.: Академия, 2008. – 349 с.
3. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

Радченко І.О., Радченко К.С., Федоров Г.Є., Ямшинський М.М.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**ВПЛИВ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ
В УМОВАХ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ**

Shostka-Style@mail.ru

Важливим важелем управління процесами формування структури і властивостей виливків з білого чавуну є їх легування, мікролегування та модифікування. Ці процеси сприяють подрібненню первинних структурних складових, отриманню однорідної мікроструктури продуктів розпаду переохолодженого аустеніту в різних перерізах виливка, утворенню нових фаз з високими механічними властивостями.

Елементи, які сприяють вибіленню чавуну, можна розташувати в послідовності збільшення ефективності їх впливу наступним чином: марганець, молібден, олово, хром, ванадій, сірка. Схильність до вибілення збільшують також магній та церій, які використовують при виробництві високоміцного чавуну.

Переважає у гідроабразивних середовищах є абразивний знос матеріалу, а тому сплави, які мають високу зносостійкість в абразивних середовищах, можна успішно використовувати для виготовлення литих деталей, які працюють у гідроабразивних середовищах.

Розроблена методика виготовлення зразків дозволяє одразу одержати 6-ть зразків для дослідження зносостійкості (рис. 1). Після охолодження та вибивання форми зразки відокремлюють від загального надливу, очищують від пригару та піддають відповідному режиму термічного оброблення.

Для дослідження зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі спроектована установка, яка виготовлена на базі свердлильного верстата. Для підтримання та фіксації зразків використовується спеціальна касета, в яку одночасно можна поставити три або шість зразків.



Рис. 1 – Блок зразків після видалення із ливарної форми

Гідроабразивна суміш являє собою суміш кар'єрного кварцового піску та води у відповідних пропорціях.

Титан має більшу спорідненість до вуглецю, ніж залізо. Під час кристалізації залізівуглецевих сплавів, які вмістять титан, він виділяється у вигляді карбіду TiC і при цьому не розчиняється в цементиті.

При вмісті у білому чавуні до 0,13 % титану він зв'язаний, переважно, в нітриди і тільки при пониженому вмісті азоту в чавуні утворюються карбіди.

Добавка до білих чавунів титану сприяє підвищенню їх зносостійкості в 1,5...2,0 рази, при цьому покращуються механічні властивості чавуну, що пояснюється утворенням евтектоїду з достатньо високою твердістю та збільшенням розмірів його полів, зменшенням кількості цементитної евтектики та зниженням мікротвердості цементиту.

Титан утворює карбіди і карбонітриди, які розташовані в основному в аустенітній матриці і на межах фаз матриця-карбід. У карбідах хрому їх

значно менше. Враховуючи відповідність типів кристалічних ґраток, вони можуть виступати центрами кристалізації аустеніту, і, таким чином, інокуюють розплав. Але тугоплавкі частинки TiC або $Ti(C,N)$, які утворилися до кристалізації основної маси розплаву, які знаходяться на межі зерен, можуть ефективно протистояти зростанню фаз, подрібнювати їх і сприяти ефекту модифікування чавуну. Карбіди титану також можуть виступати зародками для утворення первинних шестигранних карбідів хрому $(Cr, Fe)_7C_3$, і подрібнювати їх.

Вплив сурми на властивості білого чавуну досліджувався в діапазоні концентрацій від 0 до 1,0 % (за присадкою). Беручи до уваги невисоку температуру плавлення сурми, її вводили в ківш у процесі заповнення його рідким металом. Невеликі присадки сурми (0,15 %) у білих чавунах сприяють підвищенню твердості та зносостійкості сплаву. Це пояснюється тим, що сурма впливає не тільки на евтектичне перетворення, але й на кристалізацію аустеніту. Вона зсуває евтектичну точку в бік меншого вмісту вуглецю і цим збільшує кількість евтектики і подрібнює її. Подальші підвищення присадки сурми різко зменшують зносостійкість сплаву. Це пояснюється тим, що в таких кількостях сурма сприяє утворенню не дрібнодисперсної евтектики, а суцільного поля структурно вільного цементиту, який має послаблений зв'язок із матрицею сплаву та легко викришується при дії на поверхню зразка абразиву. Отже, для підвищення зносостійкості білих чавунів його необхідно додатково мікролегувати перед заливанням у форми сурмою в кількості 0,10...0,15 % (за присадкою).

Радченко К.С., Платонов Е.А., Ямшинский М.М., Федоров Г.Е.

(НТУУ «КПІ», г. Київ)

УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ТИТАНОМ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Для работы в условиях интенсивного абразивного изнашивания применяют белые износостойкие высокохромистые чугуны (ВХЧ). Высокая стойкость этих чугунов обеспечивается структурой, состоящей из карбидов хрома типа $(Cr, Fe)_7C_3$, расположенных в аустенитной, мартенситной или мартенситно-аустенитной матрице. На практике используют в основном эвтектические и доэвтектические ВХЧ, поскольку заэвтектические, несмотря на большую твердость, имеют высокую хрупкость и плохие технологические свойства. Одним из недостатков доэвтектических чугунов является наличие в структуре значительного количества первичного аустенита, который имеет микротвердость ниже, чем у карбидов и эвтектики, поэтому изнашивается быстрее и ускоряет износ всей детали.

Улучшить структуру износостойких хромистых чугунов можно дополнительным микролегированием и модифицированием. Повысить износостойкость относительно мягких участков аустенита (бывшего аустенита), и таким образом всего сплава, можно упрочнением его мелкодисперсными

карбидами или карбонитридами таких элементов как титан, ванадий, ниобий. Из многих элементов, образующих высокотвердые карбиды, наиболее перспективным является титан.

К сожалению РЗМ практически не используют при производстве износостойких ВХЧ. Это связано с тем, что, с одной стороны, при модифицировании высокохромистых чугунов редкоземельными металлами эффект влияния на их структуру и свойства не такой заметный, как для некоторых групп специальных сталей и высокопрочного чугуна. С другой стороны, данные по влиянию РЗМ на свойства ВХЧ ограничены и часто противоречивы.

Исследованиями макроструктуры установлено, что в образцах, не модифицированных РЗМ, в центральной части есть зона размерами приблизительно 5×15 мм, которая соответствует зоне равноосных кристаллов. В модифицированных образцах эта зона практически отсутствует.

Присадки в чугун титана совместно с РЗМ заметно измельчают структуру исходного ВХЧ. В центральной части образцов значительно уменьшается ширина и особенно длина дендритов первичного аустенита. Очевидно, церий и его соединения, образовавшиеся перед кристаллизацией сплава, откладываются как поверхностно-активные вещества на границе растущих дендритов аустенита, ограничивая их рост. Кроме этого, в сплаве, содержащем 0,1% РЗМ эвтектика $\gamma + (\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ имеет более мелкодисперсное строение.

Титан образует карбиды и карбонитриды, которые расположены в основном в аустенитной матрице и на границах фаз матрица-карбид. В карбидах хрома их значительно меньше. Учитывая соответствие типов кристаллических решеток, они могут выступать центрами кристаллизации аустенита, и, таким образом, инокулировать расплав. Но тугоплавкие частички TiC или Ti(C,N) , которые образовались до кристаллизации основной массы расплава, находясь на границе зерен, могут эффективно противостоять росту фаз, измельчать их и способствовать эффекту модифицирования чугуна. Карбиды титана также могут выступать зародышами для образования первичных шестигранных карбидов хрома $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$, и измельчать их.

РЗМ эффективно связывают серу и кислород в ВХЧ и находятся в составе сульфидов и оксисульфидов преимущественно сферической формы, других соединений РЗМ не выявлено. Оксисульфиды РЗМ равномерно распределены в структуре, их количество растет с увеличением общего содержания РЗМ в сплаве. Кроме того, встречаются включения, в которых сульфид РЗМ находится рядом с карбонитридом титана (сульфид находится внутри карбонитрида). Модифицирование высокохромистого чугуна (хромомарганцевого) присадками титана и РЗМ существенно влияет на структуру сплава. При этом уменьшается ширина и длина первичных дендритов аустенита, измельчается эвтектика. В чугуне, обработанном РЗМ, в дендритах аустенита присутствуют дисперсные хромистые карбиды, которые повышают микротвердость первичного аустенита (с 3,2 до 4,2 ГПа). Упрочнение аустенита мелкодисперсными твердыми карбидами и карбонитридами способствует повышению абразивной износостойкости металла отливки.

Для удешевлення структури, нейтралізації впливу шкідливих домішок, високохромисті (хромомарганцеві) чугуни цілком доцільно в процесі випуску з плавильного агрегату додатково обробляти присадками титану в кількостях 0,15...0,2% і РЗМ в кількостях 0,15...0,25% по розрахунку.

Савчук Н.О., Гурія І.М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)
ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ
ЛЕГОВАНОГО АЛЮМІНІЮ

Основною складністю при виготовленні пористих виливків є забезпечення рівномірного розподілу пор по об'єму виливка.

На однорідність розподілу пор суттєво впливають легувальні елементи, кількість та фракція стабілізаторів, а також технологічні параметри процесу спінювання алюмінієвого розплаву.

При додаванні 12% магнію у виливку спостерігається підвищення загальної пористості, зменшення товщини стінок між порами, а самі пори набувають більш правильної форми.

Мікроструктурний аналіз поверхні пори та міжпорової металеві матриці дозволив встановити розподіл елементів розплаву по стінці пори виливка (рис. 1, 2).

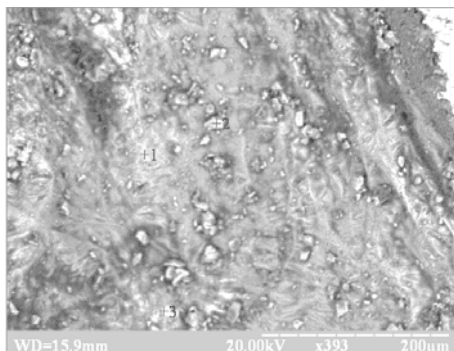


Рис. 1 – Стінка пори виливка з пористого алюмінію з вмістом магнію 12 %

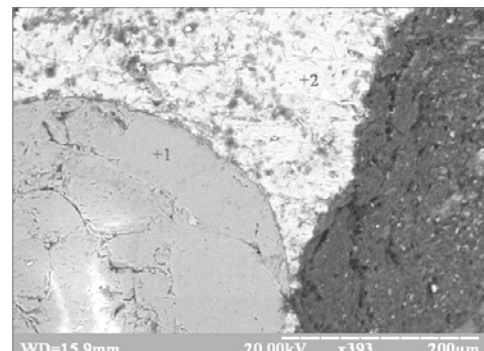


Рис. 2 – Мікроструктура міжпорової металеві матриці виливка з алюмінієвого сплаву з вмістом магнію 12 %

Введення 4% міді впливає на структуру порового простору подібно до структури пористого алюмінію з додаванням магнію 12%, але збільшуються відхилення по розмірам пор (рис. 3, 4).

В ході досліджень мікроструктури пористого алюмінієвого виливка з вмістом 1,4% цинку (рис. 5, 6) було виявлено сліди SiO_2 , як у порах, так і в безпосередній близькості біля їх поверхні. З підвищенням вмісту цинку загальна пористість виливка підвищується лише до 1,5%, при подальшому збільшенні кількості цинку пористість знижується.

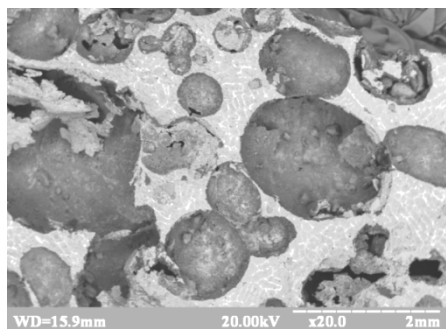


Рис. 3 – Мікроструктура пористого алюмінієвого виливка з вмістом міді 4%

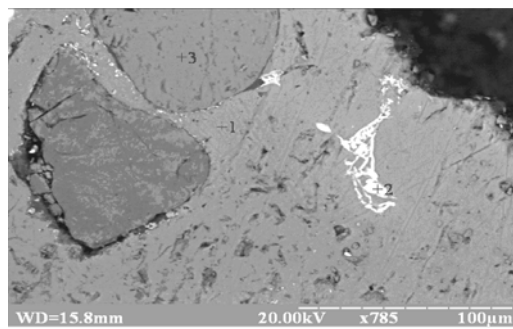


Рис. 4 – Міжпоровий простір пористого алюмінієвого виливка з вмістом міді 4%

Таким чином, на формування пористої структури алюмінію значною мірою впливають мідь та магній, що пов'язано зі зміною в'язкості та рівномірним розподілом пор у виливках.



Рис. 5 – Мікроструктура пори виливка з пористого алюмінію з додаванням 1,4% цинку

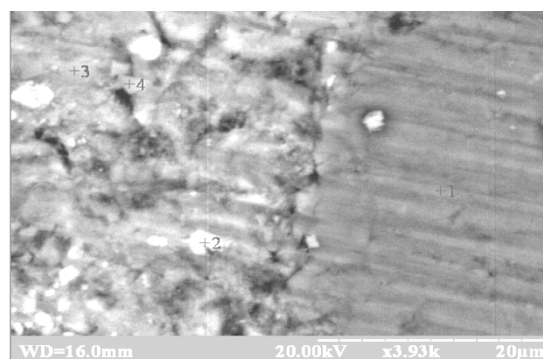


Рис. 6 – Міжпоровий простір пористого алюмінієвого виливка з вмістом цинку 1,4%

Майданчук О.Б.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВПЛИВ АРМОВАНОЇ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВОЇ МОДЕЛІ НА ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ

В результаті аналізу літератури можна зробити однозначний висновок, що якість виливків при литті за газифікованими моделями, на відміну від традиційних методів лиття, значно залежить від взаємодії рідкого і затвердіваючого металу на межі «метал – модель», що визначає кількісний і якісний склад продуктів термодеструкції, які, в свою чергу, визначають якість литих виробів.

Для дослідження впливу армованої пінополістиролової моделі (АПМ) на якість виливків із залізобуглецевих сплавів використовували рівняння, отримане при литті за пінополістироловими моделями з орієнтованою пористістю, що дозволяє визначити кількість дефектів на їхній поверхні. Аналіз отриманих даних показав, що збільшення площі, зайнятої армувальною фазою (АФ) в моделі з 10% до 50%, знижує об'єм дефектів (Д) на поверхні ви-

ливків із залізвуглецевих сплавів у 1,2...20,0 разів. Причому, збільшення швидкості підйому металу в формі знижує значимість площі АФ як параметра, який визначає об'єм дефектів. Так, при площі, зайнятій АФ, рівною 50% і швидкості 100 мм/с, об'єм дефектів в порівнянні з моноделлю зменшився з 36,0 до 18,5 мм³/м², тобто в 1,4 рази, а при аналогічних умовах і швидкості металу 30 мм/с величина Д знижується в 17,5 разів чи дефекти повністю зникають. Однак, слід відмітити, що збільшення висоти вилівка або зниження швидкості заповнення форми як фактора, який визначає збільшення часу заповнення форми металом, значно змінюють закономірності формування дефектів на поверхні вилівоків. Слід також відмітити вплив геометричних параметрів на зміну умов накопичення дефектів і розмір порового каналу. Так, у випадку застосування як АФ стрижнів діаметром 1 мм спостерігається зниження об'єму дефектів на 50...90% в порівнянні з ГМ, де застосовувались стрижні діаметром 2 мм при рівній площі АФ (F_{AF}).

Вплив F_{AF} на об'єм дефектів поверхні вилівоків відрізняється у вилівках різної товщини. Так, для вилівоків з товщиною стінки 10 мм, спостерігається зниження значень Д при збільшенні F_{AF} до 50% в 3,5...10,5 разів в порівнянні з литтям за моноделлями. Зниження дефектів на поверхні вилівоків з товщиною стінки 50 мм носить аналогічний характер. Так, при F_{AF} 10% об'єм дефектів знижується в 1,8...11,0 разів, а при F_{AF} рівній 50% значення Д зменшується уже в 11...40 разів в порівнянні з литтям за моноделлями із пінополістиролу.

Слід відмітити, що зі збільшенням товщини стінки вилівка, значимість площі, зайнятої АФ, в АПМ зростає. Так, у випадку застосування моделей з товщиною стінки 5, 10 і 50 мм, F_{AF} яких варіювалася в межах 10...50%, об'єм дефектів знижується в 1,7...2,1; 2,5...3,5 і 5,5...6,5 разів відповідно, в порівнянні з моноделлю.

Важливо відмітити, що при F_{AF} в АПМ, яка дорівнює чи перевищує 50%, вплив товщини стінки вилівка (моделі) на об'єм дефектів Д зникає і остання залежить тільки від швидкості металу в формі.

Отже, встановлено, що наявність в формі АПМ суттєво знижує чи повністю усуває специфічні дефекти у вилівках, викликані взаємодією АПМ з рідким та затвердіваючим металом. Причому, визначальними факторами являються початкова площа, зайнята АФ, діаметр порового каналу та час взаємодії нагрітої газової фази деструкції ГМ з пінополістиролом в поровому просторі.

Самарай В.П., Мирза А.И., Довбыш Н.А., Штефан А.В.

(КМУ, ИЭМ, г. Киев)

РОЛЬ ЛИТЬЯ В ОСЛОЖНЕНИЯХ ПРИ ЗУБОПРОТЕЗИРОВАНИИ

samaraj@ukr.net

В ортопедической стоматологии, в съёмном и несъёмном протезировании, широко используются литые металлические каркасы, которые играют решающую роль для получения прочного качественного протеза. При изготовлении литых каркасов могут возникать различные дефекты из-за наруше-

ния, несоответствия и несовершенства технологии, из-за которых падает качество протезов: эстетика, функциональность, прочность, биосовместимость. Эти дефекты в первую очередь возникают вследствие неоптимального недостаточного уплотнения литейной формы (ЛФ).

Признано, что выбор оптимальных режимов уплотнения и физико-механических свойств формовочных смесей (ФС) представляет собой критически важную задачу технологической подготовки производства для получения качественных отливок стоматологических протезов. Для выбора оптимальных режимов уплотнения была разработана система компьютерного моделирования динамики уплотнения ЛФ, которая базируется на представлениях реологии и решает задачу без изготовления пробных отливок. С помощью моделирования процесса уплотнения может осуществляться оптимизация длительности и режимов уплотнения при заданных реологических свойствах (РС) ФС или оптимизация реологических свойств ФС путем изменения ее состава при заданных длительности и режимах уплотнения. Разработанная система ориентирована на произвольные геометрические параметры стоматологических отливок и учитывает разные параметры и режимы формообразования, а также смену РС ФС в процессе уплотнения ЛФ.

Но для эффективного и качественного функционирования цельнолитых зубных ортопедических конструкций и их полноценной эксплуатации необходимо оценивание их влияния на биохимические показатели жидкости полости рта пациентов до и после протезирования, состояния пародонта и зубов, слизистых и других тканей. Известно, что состояние пародонта после протезирования зависит от вида протезирования и типа ортопедических конструкций. Поэтому важным является изучение зависимости состояния тканей от качества отливок стоматологических протезов. При этом известно, что влияние цельнолитых зубных протезов, отлитых только с минимальной дефектностью, т.е. при оптимальных технологических параметрах уплотнения, свойствах ФС, оптимальных времени и режимах уплотнения на биохимические показатели жидкости полости рта, пародонт, зубы, слизистые и другие ткани пациентов минимально. В связи с этим чрезвычайно актуально исследование влияния различных технологических факторов на результаты протезирования.

Интересно такое исследование в связи с возможностью выявить взаимовлияние возможных литейных дефектов отливок протезов на клиническое состояние пациента, имея уже разработанную авторами экспертную систему (ЭС) – диагностическую таблицу и эвристические модели влияния степени и оптимальности уплотнения литейной формы на литейные дефекты и соответственно разработанные программы моделирования виброуплотнения. Если влияние оптимальности уплотнения на дефектность и брак отливок проводилось и ранее, то исследования и формализацию в виде диагностической таблицы влияния возможных литейных дефектов отливок протезов, различных видов сплавов, технологий изготовления протезов (литых, штампованных либо штамповано-паяных), технологий литья (ЛВМ либо литье по огнеупор-

ным моделям), геометрических параметров, видов протезов на клиническое состояние пациента не проводилось.

Исследования позволили выявить закономерности влияния литейных факторов на клиническое состояние пациентов и обобщить их в виде диагностической таблицы "Клинические проявления дефектов литых протезов, осложнения и симптомы". Выявленные формализованные экспертные знания позволяют доработать существующие систему моделирования виброуплотнения ЛФ для стоматологических протезов и ЭС прогнозирования возможных литейных дефектов и дополнить необходимой третьей частью.

Диагностико-прогностические таблицы и соответствующая ЭС позволяют выявлять, предупреждать либо упреждать возможные осложнения у пациентов после зубопротезирования по вине несовершенства конструкции литых протезов, особенностей материалов, технологических параметров – времени и режимов вибрации (частоты и амплитуды), вида технологии и повысить качество подготовки и переподготовки литейщиков, медиков и техников.

Самарай І.М.¹, Гнатуш В.А.¹, Самарай В.П.²
(¹незалежний аналітик, ²КМУ, м. Київ)

УКРАЇНА НА СВІТОВОМУ РИНКУ БРУХТУ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ
samaraj@ukr.net

Світовий ринок брухту чорних металів (БЧМ) є динамічним утворенням. Його параметри (ціни, пропозиція та попит) визначаються динамікою світового виробництва сталі, розвитком міні-заводів і спроможністю переробників брухту поставляти товар потрібної якості та в достатній кількості.

За період від 2006 до 2011 року світовий експорт брухту чорних металів у кількісному вимірі збільшився на 13,4% (рис. 1), а у вартісному – у 1,8 рази. Визначальний вплив на попит БЧМ становило зростання виплавки сталі. У поточному році внаслідок охолодження ринку сталевих продукції розрахункове збільшення світового виробництва сталі становитиме приблизно 1%, що обумовить і гальмування темпів продажу сталевих брухту.

Лідером світового експорту БЧМ являються США, частка яких у 2011 р. становила 22,1% (20,1% – у 2010 р.) або в кількісному вимірі 24,4 млн. т. Крім США, у першу п'ятірку країн входять Німеччина (8,9%), Об'єднане Королівство (7,1%), Франція (5,6%) і Нідерланди (5,2%). Загальна частка п'яти країн у кількісному експорті в 2011 р. становить 48,8%. Росія у світовому рейтингу посідає восьме місце (4,0%) після Японії та Канади. Україна, на яку припадало в 2006...2011 рр. менше 1% світового експорту БЧМ, у минулому році була на 24 місці світового рейтингу пропустивши вперед Румунію (10-те місце), Чехію (11-те), Польщу (12-те), Угорщину (18-те) і Болгарію (23-те).



Рис. 1 – Динаміка світового експорту брухту чорних металів і виробництва сталі в 2006...2012 рр. (джерела: ІТС, WSA і розрахунки авторів)

Найбільшим імпортером БЧМ у 2006...2011 рр. є Туреччина, частка якої в 2011 р. становила 19,4% світового імпорту в кількісному вимірі. Наступні місця в лідируючій п'ятірці посідають Республіка Корея (7,8%), Китай (6,1%), Німеччина (6,0%) та Індія (5,7%). Їх загальна частка становить 45%.

Баланс торгівлі БЧМ у 2011 р. десяти країн, найбільших виробників сталі, є від'ємним (табл. 1). Основними регуляторами цін на регіональних ринках БЧМ є США, Німеччина, Туреччина, Японія, Республіка Корея і Китай.

Таблиця 1 – Зіставлення виробництва сталі і торгівля брухтом чорних металів найбільшими виробниками в 2011 р. (джерела: ІТС, WSA і розрахунки авторів)

Ранг	Країна	Виробництво сталі, млн. т	Торгівля БЧМ, млн. т		
			експорт	імпорт	баланс
1	Китай	683,3	0,025	6,766	-6,741
2	Японія	107,6	5,442	0,580	4,862
3	США	86,2	24,373	4,003	20,37
5	Індія	72,2	0,033	6,265	-6,232
4	Росія	68,7	4,375	0,003	4,372
6	Респ. Корея	68,5	0,394	8,626	-8,232
7	Німеччина	44,3	9,852	6,640	3,212
8	Україна	35,3	0,802	0,126	0,676
9	Бразилія	35,2	0,259	0,079	0,180
10	Туреччина	34,1	0,106	21,460	21,354
	Всього	1235,4	45,661	54,548	-8,887
	Разом	1490,1	110,454	110,652	-0,198
	Частка 10 країн, %	82,9	41,3	49,3	---

Основними покупцями українського БЧМ у 2009...2011 рр. є сусіди України – Туреччина й Молдова. Частка цих двох країн коливається від 86 до

95% обсягу річних поставок. Туреччина активно розвиває чорну металургію. За період від 2009 до 2011 року країна збільшила виробництво сталі на 34,8%, а імпорт БЧМ – на 33,8%. Прогнозується, що в 2012 р. виробництво сталі в Туреччині збільшиться на 8...8,5% і досягне 36 млн. т. У результаті імпорт БЧМ також збільшиться. Зауважимо, що в рейтингу постачальників сталевого брухту в Туреччину Україна традиційно перебуває наприкінці першої десятки країн.

Ринки БЧМ і сталевих продукції в 2012 р. ввійшли в період нестабільності. Їх динаміка обумовлена потребою нової стратегії їх розвитку.

Література:

1. Гнатуш В.А. Тенденции торговли ломом черных металлов // Металлолом. – 2012. – №3. – С. 40...44.
2. Ефіменко Г.Г., Самарай В.П., Гнатуш В.А. Україна у світовому виробництві і споживанні сталі // Сучасні питання економіки і права. – 2012. – №1. – С. 46...53.
3. Ефименко Г.Г., Самарай В.П., Клименко В.А. Жизнь после глобализации // Металл. – 2004. – №9(57). – С. 6...10.
4. Ефименко Г.Г., Самарай В.П., Клименко В.А. Под тяжестью глобуса // Металлургический компас. Украина-мир. – 2004. – №11. – С. 56.
5. Ефіменко Г.Г., Самарай В.П., Клименко В.А. Рівень металоспоживання як визначальний фактор розвитку економіки країни // Науково-технічна інформація. – 2005. – №2(24). – С. 26...34.
6. Ефименко Г.Г., Самарай В.П., Нецадим В.Н., Цымбал М.И., Клименко В.А., Павлышин Т.Н. О неотложных задачах развития черной металлургии как главной базовой отрасли экономики Украины: сообщения 1–3 // Металл и литье Украины. – 2010. – № 1–3.
9. Ефименко Г.Г., Самарай В.П., Клименко В.А. Черная металлургия: база развития независимой экономики Украины // Сучасні проблеми металургії: наукові праці. – Том 4: Стратегія, задачі и організація науково-технічного розвитку горно-металлургического комплекса Украины. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2003. – С. 67...71.

Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Думенко К.О.

(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ
ТА МОДИФІКУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЯКІСНИХ ВИЛИВКІВ**

s-v-y@yandex.ru

По мірі загострення проблем, які пов'язані з необхідністю глобального енергозбереження, на тлі поступового вичерпування первинних ресурсів, а також зростаючої номенклатури і об'єму товарної продукції машинобудування, все більшу важливість набувають питання підвищення якості литих заготовок при одночасному зниженні метало- і енергоспоживання на їх виробництво.

Традиційно переважний об'єм світового випуску виливків виготовляють способом гравітаційної заливки розплаву, який твердіє у ливарних формах під атмосферним тиском. Завдяки можливості отримання виливків з коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ) до 0,9, забезпеченого деякими спеціальними способами лиття, технологічні процеси заливки і формування виливків під силовим впливом, що не перевищує дію гравітації, набули найбільшого поширення. Проте, метал таких виливків має підвищену хімічну неоднорідність, крупне первинне зерно, макро- і мікрошпаристість, які знижують механічні властивості в порівнянні з поковками і прокатом. При цьому коефіцієнт використання матеріалу заготовок із деформованого металу в багатьох випадках складає менше 0,5, збільшується об'єм механічного оброблення, що призводить до подорожчання широкої номенклатури виробів. Наближення механічних властивостей виливків до рівня деформованого металу дозволить скорочувати їх масу на 10...30 % за рахунок зменшення товщини стінок при збереженні необхідної конструктивної міцності, а також переводити виготовлення деталей із поковок і прокату з низьким КВМ (0,3...0,5) на точні литі заготовки з КВМ 0,8...0,9.

Відомими шляхами підвищення якості литого металу є модифікування та використання тиску в процесі кристалізації. Відомо, що найбільш ефективною є передача наростаючого тиску в двофазну зону, особливо наприкінці періоду твердіння. При існуючих способах такого лиття більша частина навантажень, пов'язаних з використовуваним тиском, реалізується за рахунок міцності ливарної форми, або ємності, в якій вона знаходиться, що суттєво обмежує можливий діапазон тиску та масу виливків. Також негативним чинником впливає на якість виливків неможливість передачі тиску рідкій фазі всередині виливка із-за наявності міцного поверхневого шару затверділого металу наприкінці поршневого пресування, або твердіння в автоклаві при герметизації форми разом з виливком. Вказані особливості свідчать про недостатність уваги щодо питань розробки та перспективності нових процесів, що забезпечують комбінований вплив тиском та модифікуванням на розплав всередині виливка до повного його затвердіння, зокрема, за умов самогерметизації металу в ливарній формі.

Унеможлиблює досягнення необхідного результату відсутність методу визначення режиму керованої зміни тиску (газодинамічного впливу) в системі виливок-пристрій для введення газу з урахуванням особливостей здійснення комбінації силового впливу на метал в процесі твердіння та дії модифікатора. Для реалізації такого процесу невиявленими є особливості структуроутворення сплавів при введенні різних модифікаторів і зміні швидкості нагрівання та максимальних значень тиску.

Відсутність вказаних відомостей не дає можливості розробки комбінованого технологічного процесу модифікування та керованого газодинамічного впливу на розплав всередині герметизованого виливка впродовж його твердіння та відповідного поліпшення якості литого металу при застосуванні технології.

Отже, актуальним можна вважати розробку та подальший розвиток теоретичних і технологічних основ комбінованого процесу модифікування та газодинамічного впливу на рідку фазу в герметизованій у ливарній формі системі виливок – пристрій для введення газу, що забезпечує підвищення якості литого металу.

Соколовская Л.А.

(ФТИМС НАН України, г. Киев)

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ПЛАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Отливка кузнечных слитков с введением в расплав дроби позволяет повысить качество литого и деформированного металла для машиностроения. Поэтому актуально решать задачи затвердевания и плавления для оценки степени влияния дроби на температурные поля системы слиток-изложница.

Разработана методика расчета на ПЭВМ температурных полей в системах слиток-изложница и дробь-расплав. Она включает постановку тепловых задач затвердевания и плавления [1], расчетные алгоритмы и FORTRAN-программы.

При формулировке тепловых задач учтены фазовые переходы в интервале температур ликвидус-солидус, зависимость теплофизических свойств слитка, изложницы и дроби от температуры, зависимость от времени коэффициента теплопередачи от стального слитка к чугунной изложнице и зависимость от температуры коэффициента теплоотдачи от изложницы в окружающую среду. Также учтено наличие окисной пленки на поверхности стальных дробин.

При разработке алгоритмов численного решения задач затвердевания и плавления применены явно-неявные схемы конечно-разностной аппроксимации дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности.

Рассчитаны температурные поля слитка и чугунных изложниц с разной толщиной стенок (0,1...0,25) $D_{сл}$. Показано, что при затвердевании слитка температура рабочей поверхности толстостенных изложниц достигает, а у тонкостенных изложниц превышает область опасных температур (600...700)°С, при которых резко снижаются прочностные свойства чугуна. Обоснована замена толстостенной чугунной изложницы для отливки в ней 10 т кузнечных слитков нержавеющей стали на утоненную в 1,5 раза стальную изложницу.

С целью изучения внешнего теплоотвода от расплава через стенки изложницы в окружающую среду и внутреннего теплоотвода от жидкой стали к холодным дробинкам выполнены расчеты на ПЭВМ температурных полей в системах слиток-изложница и дробинка-расплав. Это облегчает выбор рациональной толщины стенок изложниц из разных типов чугуна (ЧПГ, ЧВГ или ЧШГ) и оптимальной дозы и фракции введенной в расплав литой дроби.

При изучении закономерностей внешнего и внутреннего теплоотвода установлено, что ускорить процесс затвердевания слитков за счет внешнего

теплоотвода не удается. Зато внутренний теплоотвод от расплава к дробинкам-микрохолодильникам уменьшает время затвердевания слитков. Поэтому при отливке кузнечных слитков с дробью внутренний теплоотвод более эффективен по сравнению с внешним теплоотводом. Показано, что при затвердевании слитков с дробью стенки чугунных изложниц разогреваются меньше. Это улучшает тепловую работу изложниц и повышает их термостойкость.

Вычислительными экспериментами установлено [2], что в зависимости от температуры перегрева расплава, дозы дроби и ее фракционного состава возможно полное расплавление, частичное оплавление и даже нерасплавление дробинки с замороженным на них слоем двухфазного или твердого гарнисажа.

Чтобы снизить начальный перегрев низкоуглеродистой стали на 30°C при температуре разлива 1560°C достаточно ввести в расплав (1,3...1,5)% дроби. Для полного снятия перегрева жидкой стали требуется ввести в объем слитка (2,5...3)% дроби. Эти результаты подтверждают высокую эффективность теплофизического воздействия стальной дроби на температурное состояние затвердевающего расплава при его перемешивании с дробью в объеме слитка.

Литература:

1. Соколовская Л.А., Мамишев В.А. О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве // Процессы литья. – 2009. – № 2. – С. 24...29.

2. Соколовская Л.А., Осипов В.П., Мамишев В.А. Использование математического моделирования при исследовании теплофизических процессов взаимодействия расплава с твердыми добавками // Процессы литья. – 2000. – № 4. – С. 72...78.

Солидор Н.А., Миленцев В.А.

(ГВУЗ «ПГТУ», г. Мариуполь)

ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ 70ХЛ И 75ХФТЛ

solidor@rambler.ru

На ПАО «ММК им. Ильича» в качестве литой износостойкой стали используется 70ХЛ. Для этой стали наиболее часто применяется нормализация и высокий отпуск, обеспечивающие хорошую механическую обработку. Однако долговечность деталей из рассматриваемой стали зачастую неудовлетворительна, что вызывает необходимость изготавливать большое количество сменно-запасных частей. В связи с этим повышение износостойкости стали 70ХЛ является важной задачей, обеспечивающей ресурсосбережение. В данной работе она решалась за счет микролегирования ее ванадием и титаном (сталь 75ХФТЛ), а также проведением изотермической закалки, позволяющей получить в структуре наряду с другими составляющими метастабильный остаточный аустенит.

Известно, что изотермическая закалка позволяет уменьшить внутренние напряжения и коробление деталей, а также получить в структуре метастабильный остаточный аустенит. Аустенитизация сталей 70ХЛ и 70ХФТЛ проводилась при 860°С, выдержка составляла 20 мин. Температуры изотермы: 350, 400 и 450°С, время выдержки составляло 10 и 60 мин. В зависимости от режима термообработки структура сталей представляет собой нижний бейнит, остаточный аустенит и карбиды с различным соотношением составляющих.

Установлено, что изотермическая закалка сталей 70ХЛ и 75ХФТЛ позволяет получить наиболее высокую абразивную износостойкость ($\epsilon=2,1$ и $\epsilon=2,5$ соответственно) после непродолжительного пребывания (10 мин) образцов при температуре изотермы 400°С вследствие получения в структуре наряду с нижним бейнитом и карбидами 25...30% метастабильного аустенита. Превращение последнего в мартенсит, прирост которого согласно данным рентгеновского анализа составляет 13...16%, играет важную роль в повышении сопротивления разрушению, что зачастую не учитывается.

Напротив, хорошее сочетание механических свойств достигается при более продолжительной выдержке, в результате которой образуется сравнительно небольшое количество остаточного аустенита повышенной стабильности (табл. 1).

Пониженные значения $\sigma_{0,2}$, δ , ψ и наиболее высокий уровень σ_v в исследованных сталях после изотермической выдержки 10 мин при 400°С обусловлены получением в структуре большого количества остаточного аустенита и значительного прироста мартенсита деформации. Увеличение длительности пребывания образцов при температуре 400°С с 10 до 60 мин приводит к повышению $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , но снижает σ_v сталей. Это является следствием возрастания в структуре доли нижнего бейнита, снижением количества остаточного аустенита и повышения его стабильности.

Таблица 1 – Влияние режимов изотермической закалки на механические свойства сталей 70ХЛ и 75ХФТЛ

Сталь	Режимы термообработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_v , МПа	δ , %	ψ , %
70ХЛ	И. з. от 860 °С (20 мин), охлаждение до 400 °С, 10 мин	711	1215	2,7	26
75ХФТЛ		745	1300	2,7	30
70ХЛ	И. з. от 860 °С (20 мин), охлаждение до 400 °С, 60 мин	921	1029	6,7	36
75ХФТЛ		985	1197	6,8	38

Полученные данные показывают большие возможности повышения свойств исследованных сталей за счёт использования их внутреннего резерва, которым является метастабильный аустенит, количеством и стабильностью которого необходимо управлять.

Степанчук А.М., Бірюкович Л.О., Богатов С.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)
ПОРОШКОВІ ЛІГАТУРИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ
ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ СПЛАВІВ
astepanchuk@iff.kpi.ua

Дисперсне зміцнення матеріалів знаходить широке застосування при створенні матеріалів з підвищеними характеристиками міцності, жаро- і термостійкості та інші [1].

Серед різноманіття методів дисперсного зміцнення значне розповсюдження знаходять методи з використанням порошкових лігатур, які поряд з перевагами мають певні недоліки. Однією з проблем при легуванні розплавів порошковою лігатурою є агрегація її частинок. Для рівномірного розподілу частинок лігатури необхідно, щоб розплав проникав між частинками порошків тугоплавких сполук і в системі тверде тіло – розплав створювались зусилля, які б розштовхували частинки, а сили стягування були мінімальними. Як відомо [2], на ці зусилля впливає ступінь змочування розплавом поверхні твердих частинок, кількість рідкої фази, та діаметр частинок.

Тому в роботі за мету поставлено розробку основ створення лігатури для легування та дисперсного зміцнення металів та сплавів методом лиття з використанням як дисперсно зміцнювальної фази тугоплавких сполук.

Для оптимізації складу лігатури та визначення оптимальних умов дисперсного зміцнення матеріалів було використано фізичну та математичну моделі сил взаємодії між частинками порошку за наявності рідкої фази. Така система утворюється введенням лігатури у вигляді пресовок із суміші порошків (ЗФ) та матеріалу, який зміцнюється.

Наявність рідкої фази на контакті частинок призводить до утворення викривлених поверхонь розділу і трьохфазних периметрів змочування, що зумовлює появу капілярних сил.

Сила, яка стягує частинки чи розштовхує їх, повинна визначатися двома складовими [2]: $F = F_1 + F_2$.

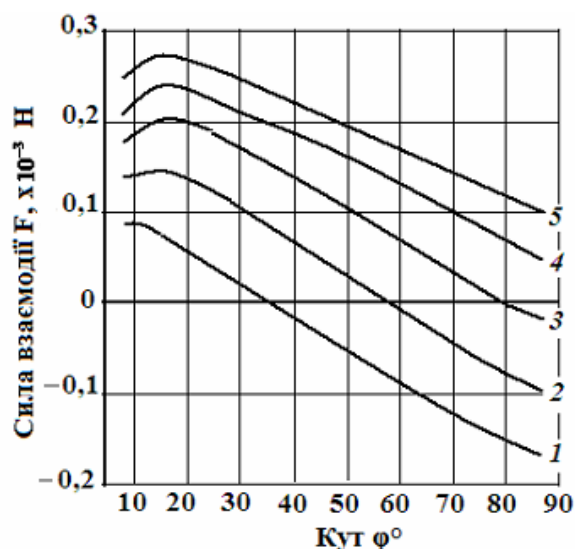
Завдяки кривизні менісків по обидві сторони поверхні рідини буде існувати перепад тисків (ΔP), що визначається за першим законом Лапласа.

В середині рідини тиск менший, ніж на поверхні, і на частинки діє сти-скальна сила: $F_1 = \Delta P \cdot S$, де S – площа проекції поверхні границі рідини – тв. тіло на площину, перпендикулярну до напрямку зусилля.

Друга складова сили взаємодії для двох частинок визначається за формулою: $F_2 = c \sigma \sin(\varphi + \theta)$, де c – довжина границі змочування; σ – поверхневий натяг; φ – кут, який залежить від об'єму рідини; θ – краєвий кут змочування.

В роботі були отримані вирази для визначення цих сил та розраховані сили взаємодії між частинками залежно від кількості розплаву між частинками (зміни кута φ), крайового кута змочування поверхні твердої фази (карбідів), радіусу частинок порошку карбідів (рис. 1). З рисунку видно, що зі збі-

льшенням кількості рідини між двома частинками (збільшенням кута ϕ) спостерігається зменшення сили взаємодії, яка стягує частинки.

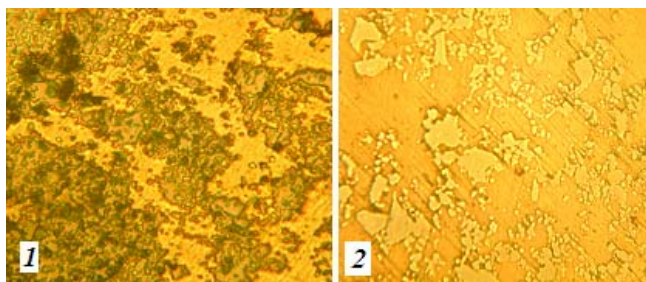


1 – $\theta = 70^\circ$; 2 – $\theta = 60^\circ$; 3 – $\theta = 50^\circ$; 4 – $\theta = 40^\circ$; 5 – $\theta = 30^\circ$

Рис. 1 – Залежність сили взаємодії F від кількості рідкої фази (кута ϕ°), при $R = 50$ мкм

За певного значення кута ϕ криві проходять через 0, і сили стають від'ємними, тобто такими, що розштовхують частинки. Збільшення ϕ спричиняє зменшення швидкості зміни капілярних сил, а перехід через 0 відбувається за максимального для даного ϕ об'єму. Тобто, збільшуючи кількість рідкої фази між частинками, за певного кута змочування, можна досягти того, що сила взаємодії буде розштовхувати частинки порошку.

Проведені нами експериментальні дослідження взаємодії лігатури у вигляді пресовок, які складались із суміші порошоків матеріалу основи та порошоків тугоплавких сполук, підтверджують отримані нами розрахункові дані. Так, залежно від умов та складу лігатури відбувається розчинення лігатури. При цьому, у випадку, коли між частинками тугоплавких сполук виникають сили стягування, розчинення супроводжується утворенням конгломерату частинок (рис. 2, 1). За сил стягування, близьких до нуля, або дії розштовхувальних сил частинки карбідів розподіляються у розплаві основного металу (рис. 2, 2).



1 – при дії стягувальних сил; 2 – при дії розштовхувальних сил

Рис. 2 – Структура після взаємодії лігатури (MeC+Cu) з розплавом міді (x400)

Таким чином, змінюючи такі параметри як: радіус твердих частинок R , кут змочування θ , кількості рідкої фази у пресовці можна регулювати силу взаємодії між частинками порошку. Для кожного випадку можна підібрати ці характеристики таким чином, щоб введення лігатури і плавлення металевої складової в ній призводило до виникнення від'ємних значень сили взаємодії, тобто таких, які будуть розштовхувати частинки порошку зміцнювальної фази. Останнє буде сприяти рівномірному їх розподілу в матеріалі, який зміцнюється.

Література:

1. Степанчук А.М., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии. – К.: «Высшая школа», 1989. – 425 с.

2. Попель С.И. Поверхностные явления в расплавах. – М.: Металлургия, 1994. – 440 с.

Тошева О.Ю., Чайковський О.А., Кочешков А.С.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

Питання підвищення якості та зменшення браку виливків залежить від правильного, достовірного та ефективного методу лиття.

В більшості випадків виготовлення виливків із сплавів кольорових металів проходить за допомогою спеціальних методів лиття. Великий відсоток складає процес лиття за моделями, що витоплюються. Через використання великої кількості процесів виробництва та номенклатури виробів, цей спосіб виробництва виливків із кольорових сплавів є досить проблематичним.

Таким способом можна отримувати виливки будь-якої складності з різною товщиною стінок, які майже не вимагають механічної обробки.

Ливникові системи мають значний вплив на якість деталей та на техніко-економічні показники виробництва виливків за моделями, що витоплюються. Зазвичай 10...30% браку виливків пов'язано з ливниковою системою і, як слідство, недостатнім живленням металом під час затвердіння.

Правильно вибрана ливникова система забезпечує хороше заповнення форми; високу якість виливків, усунення усадкових раковин і поруватості, без сторонніх включень, жолоблення, з мінімальними внутрішнім напруженням, високі механічні характеристики виливків. При цьому маса, розміри ливникової системи повинні бути мінімально необхідні. Модель ливникової системи, яка одночасно є опорною конструкцією повинна бути міцною. Для правильного вибору конструкції ливникової системи та визначення розмірів її основних елементів необхідно правильно визначити місця підведення металу (за товщиною стінки вилівка), напрямку (зверху, знизу, збоку, комбіновано) та положення деталі під час заливання (горизонтальне, під кутом, вертикальне).

Досліди проводили на латуні ЛС59-1, живильники до виливка розташовували зверху, положення виливків під кутом та вертикальне. Для виготовлення блоку використовувалась воскова маса виробництва фірми Castaldo Super Cera. Для формування використовувалась гіпсо – кристобалітова формувальна суміш Kerr Cast 2000. Заливання металу у форму–моноліт відбувалося вакуумним всмоктуванням. Латунь ЛС59-1 якнайкраще підходить для імітації сплаву золота ЗлСрМ585-80, порівняльні характеристики наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Механічні характеристики сплавів ЛС59-1 та ЗлСрМ585-80

Властивості	ЛС59-1	ЗлСрМ585-80
Температури плавлення, °С	895...1070	830...1027
Твердість, НВ	390...880	69...150
Відносне подовження, %	38...60	33...53
Густина, г/см ³	8,3...8,5	13,2...13,7
Тимчасовий опір під час	25...47	30...51
Рідкотекучість, мм	270...600	250...700

Виливки виготовляли на наступному устаткуванні: ливарна машина УПН-120-2, муфельна піч виробництва фірми «Рундист», формувальна машина Кауа Cast.

Під час проведення дослідів фіксувались такі параметри:

- температура металу у тиглі;
- початкова температура форми перед заливанням металу;
- площа та глибина проникнення дефектів;
- величина усадкової раковини.

За результатами роботи визначено, що на величину поверхневих дефектів найбільше впливають температура форми і геометрія підведення ливникової системи до виливків.

Троцан А. И., Каверинский В. В. Бродецкий И. Л.

(ИПМ НАНУ, г. Киев)

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК

hisie@ukr.net

Разработана компьютерная модель, описывающая структурообразование при кристаллизации малых отливок, позволяющая определить время кристаллизации и охлаждения, изменение температурных полей отливки и формы в процессе охлаждения, предсказать распределение характеристик структуры по сечению, оценить частотное распределение кристаллитов по размерам в локальных участках металла. Предусмотрена возможность оценки влияния модификатора на характеристики формирующейся структуры.

С использованием разработанной модели проведен расчёт кристаллизации цилиндрических алюминиевых отливок диаметром 27 мм и высотой 51 мм, в чугунных кокилях. Рассчитывались случаи, как гомогенной кристаллизации, так и при вводе инокуляторов, образующих порядка 10^{10} центров кристаллизации на 1 кг металла. Согласно расчётам, в указанных условиях немодифицированная отливка закристаллизуется через ≈ 9 секунд от момента заливки, модифицированная через ≈ 7 секунд. На рис.1 приведены графики изменения размера зерна по сечению отливки (а) и гистограмма частотного распределения зёрен литого металла по размерам в центральной части ($12 \pm 1,5$ мм от боковой поверхности) немодифицированной отливки (б).

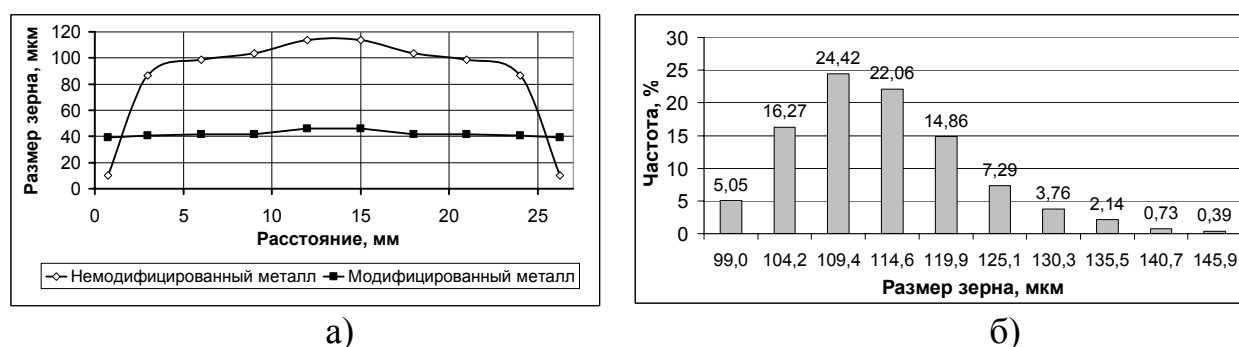


Рис.1 – Изменение средних значений размера зерна по сечению отливки (а); гистограмма частотного распределения зёрен по размерам на расстоянии $12 \pm 1,5$ мм от края (б)

Из приведенных результатов видно, что в немодифицированной отливке средний размер зерна в значительной мере увеличивается от краёв к центру. В модифицированной отливке он однороден по сечению и значительно мельче, за исключением корковой зоны. Модель расчета позволяет оценить распределение зёрен по размерам в локальном участке отливки. Из диаграммы на рис. 1(б) видно, что функция распределения асимметрична: максимум несколько смещён в сторону более мелких зёрен, в области более крупных зёрен наклон функции пологий и имеется «хвост», обусловленный, малой скоростью зарождения кристаллов на начальных этапах и процессами коагуляции.

Полученные теоретические результаты хорошо коррелируют с экспериментальными данными (рис.2), из графиков которого видно, что экспериментальное частотное распределение зерен по размерам центральной части отливки близко к теоретическому. Также можно отметить предсказание асимметричности распределения – смещение максимума в сторону более мелких кристаллов и наличие «хвоста» в сторону крупных.

В микроструктуре не модифицированной отливки, отлитой в условиях, соответствующих тем, которые использовались при моделировании кристаллизации малых отливок, средний размер зерна 84 мкм и варьируется от 20 до 160 мкм, увеличиваясь от края к центру. Средний размер зерна в случае модифицирования порошком Al_2O_3 составляет 35 мкм, варьирование размеров зёрен несколько сильнее, чем предсказывала математическая модель – от 15

до 55 мкм, що можна пояснити неоднородністю розподілення модифікатора.

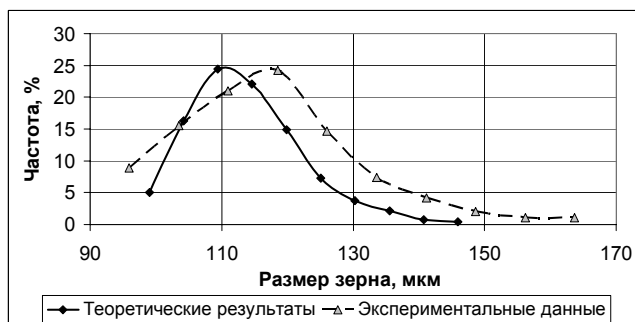


Рис. 2 – Сопоставление теоретических и экспериментальных результатов по определению частотного распределения зерён по размерам

Федоров М.М., Катрушенко В.О.
(ДДМА, м. Краматорськ)

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕЦЕВМІСНИХ ПРОТИПРИГАРНИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПІЩАНО-БЕНТОНІТОВИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

У теперішній час у складі сирих піщано-бентонітових сумішей для формування по-сирому, які використовуються на сучасних автоматичних лініях, наприклад, формування за сейатцу-процесом, у якості протипригарних добавок, в основному, використовують кам'яновугільні порошки, що пов'язано з їхньою ефективною протипригарною дією, порівняно низькою вартістю, доступністю й універсальністю. Такі формувальні суміші зазвичай використовують для виготовлення чавунних виливків масою до декількох десятків кілограмів.

Найбільш важливими в технологічному плані є наступні властивості кам'яновугільних порошків:

- вихід летких речовин і блискучого вуглецю;
- кількість коксового залишку;
- температурний інтервал пластичного стану.

При заливанні металом форми, виготовленої із суміші з додаванням вугілля, відбувається процес піролізу вугілля і, починаючи з температури 250°C, відбувається виділення летких речовин. Леткі складові вугілля значно впливають на формування якості поверхні виливків. З їхнім виділенням пов'язане зменшення температурних напруг у поверхневих шарах форми, що приводить до зменшення небезпеки утворення ужимин, а також утворення блискучого вуглецю. Між кількістю летких речовин і виходом блискучого вуглецю встановлена лінійна залежність: чим більше летких, тим більше виділяється блискучого вуглецю. У порожнині форми з газової фази, яка утворюється леткими речовинами, на стінках форми конденсується блискучий вуглець, який закупорює пори у стінках форми та забезпечує ефект їх незмочуваності рідким металом. Вихід летких речовин з кам'яного вугілля визначають через відношення маси летких речовин, які утворилися при нагріванні вугілля при температурі 850±10°C до маси

твердого вугілля, перерахованої на сухий беззолний стан. Вихід блискучого вуглецю визначають при спалюванні наважки кам'яновугільного порошку у спеціальній кварцовій реторті при температурі $900 \pm 20^\circ\text{C}$ і осіданні блискучого вуглецю у спеціальній кварцовій колбі, яка заповнена кварцовою ватою і приєднана до реторти.

Кам'яні вугілля з виходом летких речовин у кількості 20...40 % мають кращу здатність спікатися й утворювати міцний кокс. Чим більша міцність коксу, тим краще його зчеплення з зернами кварцового піску, при цьому він також зменшує перетин пор у формувальній суміші, перешкоджаючи проникненню в них металу. Однак кокс при температурі 900°C переходить у термостійку модифікацію, має велику поруватість, що сприяє поглинанню додаткової кількості води, а утворення міцних коксових і напівкоксів містків в об'ємі суміші погіршує її текучість і формувальність. Тому вважається, що вугілля повинне забезпечувати максимальний вихід летких речовин і мінімальну кількість залишкового коксу. Кількість коксового залишку зазвичай визначають термогравіметричним методом.

На якість виливків суттєво впливають пластичні властивості вугілля, тобто його розм'якшення у визначеному температурному інтервалі, коли вугілля спочатку переходить у пластичний стан, а потім коксується. Збільшення температурного інтервалу, при якому вугілля знаходиться в пластичному стані, що збігається з критичним інтервалом розширення кварцу і його температурних напружень приводить до запобігання утворення поверхневих дефектів – ужимин. Температурний інтервал пластичного стану вугілля тісно пов'язаний з утворенням бітуму. Температура розм'якшення значно знижується в напрямку від вугільних порошоків, що не утворюють бітумів, до вугільних порошоків, які утворюють велику кількість бітуму і смоли. Температура початку розм'якшення вугілля при вмісті летких 35% найбільша – близько 350°C і значно змінюється з підвищенням вмісту вуглецю. Кам'яні вугілля із вмістом вуглецю менш 82 і більш 90,5% узагалі не розм'якшуються, не спікаються, а дають тільки пилоподібний залишок. Вугілля із вмістом близько 87% вуглецю мають максимальні пластичні властивості.

Експериментально встановлено, що найбільш ефективними у якості протипригарних і протиужиминних добавок є кам'яновугільні порошки, які мають наступні характеристики: максимальний вихід блискучого вуглецю (8...12%), вихід летких речовин на рівні 30...40%; високий температурний інтервал пластичного стану ($350 \dots 550^\circ\text{C}$), незначний вихід коксового залишку. Таким характеристикам можуть відповідати збагачені кам'яновугільні порошки марок: «газове», «довгополум'яно-газове», «жирне». Але щоб обрати дійсно ефективні різновиди кам'яновугільних порошоків, потрібно здійснювати їх комплексний аналіз за зазначеними вище властивостями.

Федорова Н.В.

(ДДМА, м. Краматорськ)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОРМУВАННЯ ЦІНИ НА ПРОДУКЦІЮ МАШИНОБУДУВАННЯ ЦІННІСНИМИ МЕТОДАМИ

Використовуючи принципово нові технології, ПАТ «НКМЗ» здійснює виробництво валків з переважаючими експлуатаційними характеристиками.

Із сукупності проаналізованих товарів найбільший рівень конкурентоспроможності мають валки з наплавленням швидкорізальною сталлю, дещо нижча конкурентоспроможність валків з наплавленням високохромистим чавуном. Чавунні валки Лутугінського державного науково-виробничого валкового комбінату (ЛДНВВК) – вироби з найменшою конкурентоспроможністю. Наочно це зазначено на рис. 1.

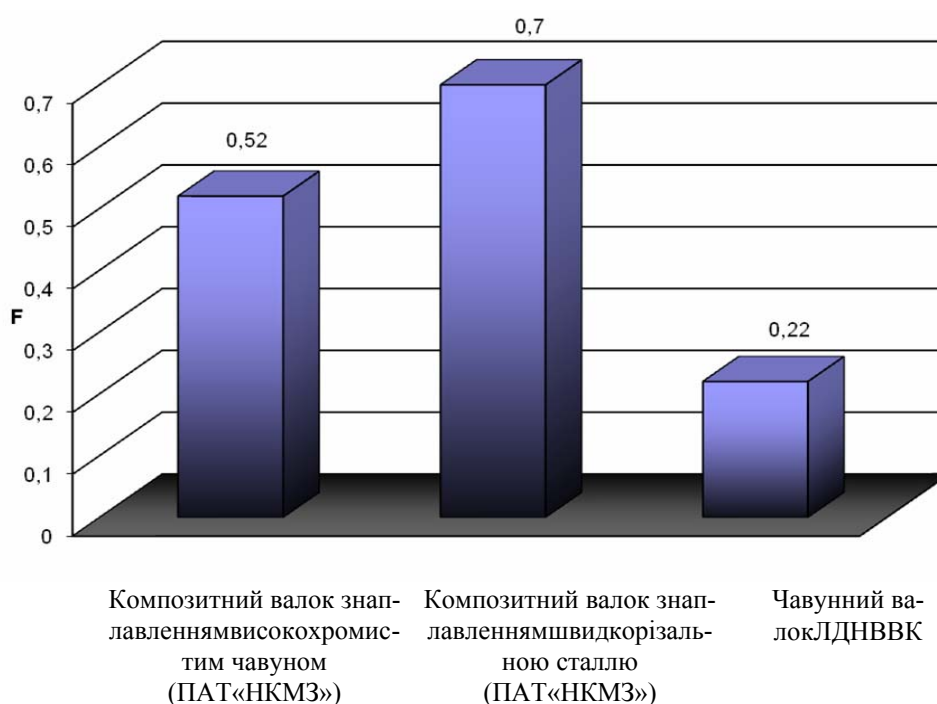


Рис. 1 – Рівень конкурентоспроможності валків

Значний відрив валкової продукції виробництва ПАТ «НКМЗ» від товарів-конкурентів забезпечується перевагою не окремих експлуатаційних характеристик, а практично за всією сукупністю досліджуваних параметрів, що наочно продемонстровано на рис. 2.

Рівень конкурентоспроможності визначає величину ціни на валкову продукцію. Так, на підставі проведених розрахунків, ціна на валок, виготовлений з наплавленням високохромистим чавуном, на 57% перевищує ціну чавунного валка виробництва ЛДНВВК за рахунок підвищеного рівня конкурентоспроможності.

Ефект, пов'язаний із застосуванням методики ціннісного ціноутворення, полягає в одержанні підприємством додатковому прибутку за рахунок реалізації виготовленої продукції за ціною, яка відображає її дійсну якість.

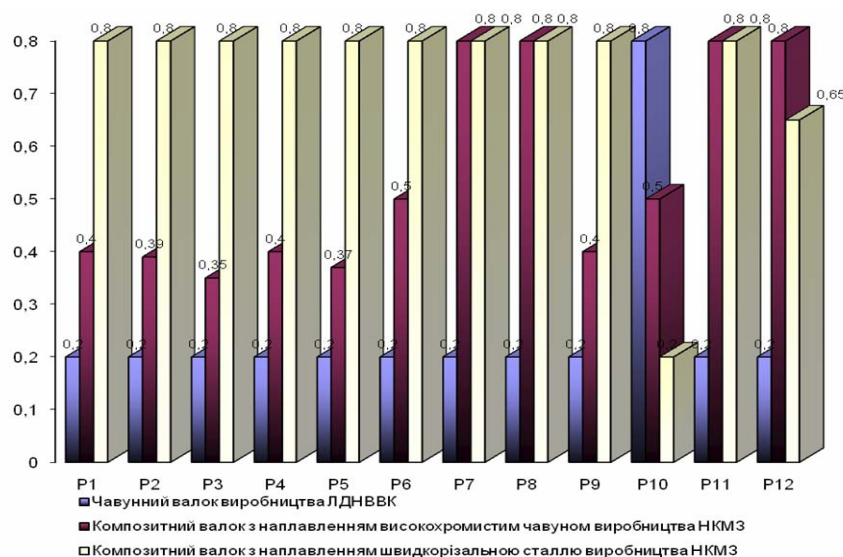


Рис. 2 – Рівень конкурентоспроможності параметрів

Фесенко К.В., Косячков В.О., Вініченко В.Г.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОТРИМАННЯ ЧАВУННИХ
ВИЛИВКІВ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ
ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ**
fesenkoev87@mail.ru

Виробництво двошарових чавунних виливків здійснюється різноманітними засобами. Зокрема, заливанням у загальну ливарну форму різнорідних рідких сплавів з перегородкою між ними; послідовним заливанням ливарної форми різнорідними чавунами крізь дві незалежні ливникові системи з паузою між заливанням; виливанням рідкого залишку одного чавуну з доливанням серцевини іншим чавуном; відцентровим литвом з пошаровим заливанням виливниці, яка обертається, різнорідними чавунами та іншими методами. Заливання однорідного чавуну в ливарну форму з розташованим у ній кокілем для прискореного охолодження та отримання відбіленого шару не відрізняється стабільністю результатів.

Використання двох плавильних агрегатів для синхронного виплавлення різнорідних чавунів пов'язано з певними організаційно-технологічними труднощами. Навіть при наявності достатнього парку чавуноплавильних печей, як правило, протягом зміни працює тільки одна піч, а інші ремонтуються або знаходяться в резерві.

На кафедрах ливарного виробництва київського та криворізького технічних вишів відпрацьовується принципово новий метод диференціації структури та властивостей чавуну в різних шарах виливка. Сутність запатентованого методу полягає у виплавленні чавуну в одній печі, та його розділенні в ливниковій системі на два потоки, один з яких модифікується в реакційній камері з відповідною зміною структури в процесі подальшої кристалізації.

Апріорним моделюванням методом морфологічної комбінаторики виявлено біля 300 різноманітних конструктивно-технологічних варіантів ре-

лізації цієї ідеї. Принципово можливий такий, наприклад, варіант, як розділення звичайного базового сірого чавуну на два потоки з внутрішньоформовим модифікуванням одного з них карбідостабілізуючим, а іншого сфероїдизуючим модифікатором. В результаті очікується отримання вилівка з робочим шаром із зносостійкого твердого білого чавуну та матричним шаром з ударостійкого феритного чавуну з кулястим графітом.

Реалізації ідеї перешкоджає можливість взаємного гідродинамічного перемішування різнорідних потоків чавуну в процесі заливання загальної ливарної форми, а також можливість дифузійного вирівнювання хімічного складу рідкого чавуну в процесі його охолодження. Відповідними конструкційно-технологічними прийомами частково чи повністю недоліки методу усуваються. За результатами експериментальних плавок отримані зразки двошарового чавуну з надійним проміжним шаром. Результати експериментів опубліковані в технічній літературі [1...3].

Проте, для стабільної диференціації структури і властивостей базового сплаву в різних шарах вилівка необхідні більш глибокі дослідження механізму та кінетики взаємодії сірого, білого та високоміцного чавуну як під час заливання, так і при охолодженні та кристалізації в загальній ливарній формі.

Література:

1. Косячков В.А., Фесенко М.А. Взаимодействие белого и магниевого чугуна, модифицированного в литейной форме // Процессы литья. 2006, № 4.– С. 40...47.

2. Фесенко А.Н., Фесенко М.А., Косячков В.А., Фесенко Е.В. Получение отливок с разнородной структурой и свойствами из базового расплава доэвтектического чугуна методом внутрiformенного модифицирования // Вісник ДДМА. – 2009. № 1 (15). – С.317...321.

3. Фесенко М.А., Фесенко А.Н., Косячков В.А. Внутрiformенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированной структурой и свойствами / Литейное производство, 2010. – С.7...13.

Фесенко М.А.¹, Фесенко А.Н.², Могилатенко В.Г.¹, Мисюра С.В.¹

(¹НТУУ «КПІ», г. Київ, ²ДГМА, г. Краматорск)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Высокопрочный чугун является прогрессивным литейным конструкционным материалом, который обладает целым комплексом положительных, а в некоторых случаях и уникальных свойств. За последнее время в мировой практике наблюдается увеличение объемов производства высокопрочного чугуна, на долю которого приходится около ¼ совокупного производства металлического литья. Лидерами по выпуску высокопрочного чугуна являются Китай – 10,3 млн. тонн, США – 3,8 млн. тонн, Германия – 1,69 млн. тонн, Япония – 1,6 млн. тонн в год. В Украине годовой объем производства отливок из данного конструкционного материала не превышает 40 тыс. тонн. В отдельных странах, например, Франции, Норвегии, Португалии, Дании, Ве-

ликобритании объемы производства отливок из высокопрочного чугуна превышают совокупный выпуск литья, получаемого из других сплавов.

Широкое распространение высокопрочного чугуна обусловлено тем, что его можно эффективно использовать взамен отливок, поковок и штамповок из углеродистой и легированной стали, деталей из ковкого и серого чугунов. Применение высокопрочного чугуна позволяет обеспечить повышение надежности и долговечности литых изделий, уменьшение металлоемкости отливок, снижение затрат на шихтовые материалы и плавку чугуна, сокращение технологического цикла изготовления отливок, рост производительности труда на финишных операциях и др.

Благодаря этим и другим преимуществам, высокопрочный чугун находит все более широкое применения для изготовления деталей в автомобилестроении, тракторостроении, судостроении, машиностроении, вагоностроении, трубоостроении, в нефтяной, химической и металлургической промышленности.

Учитывая вышесказанное одним из направлений развития современного литейного производства Украины в ближайшее время и на перспективу является существенное расширение производства отливок из высокопрочного чугуна.

В работе предложены и исследованы эффективные технологические процессы получения отливок из высокопрочного чугуна с применением способов ковшевого и внутриформенного модифицирования базового расплава при литье в песчано-глинистые формы, по газифицируемым моделям и методом центробежного литья. Выявлены основные закономерности обработки расплавов чугунов сфероидизирующими (ФСМг7, ФСМг9, VL63(M), Ni-Mg-Cu, ФЦМ-5) добавками, определены оптимальные их гранулометрические характеристики и количество. Установлены оптимальные температурные режимы и параметры литья для каждого технологического процесса.

Многочисленными исследованиями с использованием методов физического моделирования, а также экспериментальными исследованиями при изготовлении опытных отливок из чугуна определены рациональные типы реакционных камер и конструкции литниковых систем для обеспечения эффективной и стабильной внутриформенной модифицирующей обработки расплава чугуна различными добавками.

Предложены новые способы интенсификации растворения модифицирующих добавок в случае обработки жидкого чугуна в открытых ковшах, а также внутри литейной формы, в том числе при использовании добавок с размерами зерен, отличными от оптимальных, включая и пылевидные фракции.

Полученные результаты исследований, а также их опробование при изготовлении опытных отливок могут быть использованы для изготовления чугунных отливок с заданными структурой и свойствами, как из исходного жидкого серого чугуна, склонного к кристаллизации с выделением свободного графита, так и из исходного белого чугуна, склонного к кристаллизации с отбелом. Разработанные технологические процессы защищены патентами Украины.

Шаломеев В.А., Цивирко Э.И., Зелениук Ю.А., Зинченко М.М.
(ЗНТУ, г. Запорозьє)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЬЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

gr@radiocom.net.ua

При производстве титановой губки на титано-магниевых комбинатах образуется значительное количество отходов расплава солевого хлоратора (РСХ), который утилизируют на полигонах путем захоронения в траншеях, оборудованных известковой «подушкой», что позволяет сдерживать распространение хлоридов в почве. Комбинаты тратят миллионы гривен на утилизацию отходов и содержание полигонов для их захоронения. Поэтому использование отходов для нужд промышленности является актуальной задачей.

Исследовали возможность применения твердого РСХ (40% $MgCl_2$, 35% KCl , 10% $CaCl_2$, 8% $BaCl_2$, 5% CaF_2 , РЗМ ост.) в качестве флюса при выплавке магниевого сплава вместо традиционно применяемого флюса ВИ-2 и изучали его влияние на структуру и свойства магниевого литья.

Магниевый сплав МЛ5 выплавляли в индукционной тигельной печи ИПМ-500 по следующим технологиям:

- по серийной технологии с применением флюса ВИ-2;
- с применением смеси флюса ВИ-2 и РСХ в соотношении 1:1;
- с использованием в качестве флюса РСХ.

РСХ предварительно измельчали до фракции 0,01...2,00 мм и прокаливали при температуре 150°C. После рафинирования и отстаивания в течение 15 мин готовый расплав при температуре 720°C заливали в песчано-глинистые формы для получения стандартных образцов с рабочим диаметром 12 мм для механических испытаний. Образцы подвергали термической обработке в печах типа Бельвю и ПАП-4М по режиму Т6. Использование РСХ в качестве флюса при выплавке магниевого сплава МЛ5 не требует изменений в технологическом процессе проведения плавки и получения магниевого сплава, при этом его экологическая безопасность отвечает установленным нормам.

Макроструктура образцов опытных плавов была плотной, однородной без усадочных рыхлот, плен, газовых пор и других дефектов.

Микроструктура исследуемых образцов состояла из δ -твердого раствора алюминия, цинка и марганца в магнии с четкими границами зерен, эвтектики $\delta+\gamma(Mg_4Al_3)$ и мелкодисперсной упрочняющей интерметаллидной $\gamma(Mg_4Al_3)$ -фазы. Эвтектика была сосредоточена по границам зерен, интерметаллидная фаза выделялась в виде частиц глобулярной формы преимущественно в центре зерен.

Повышение доли РСХ в общем объеме флюса способствовало уменьшению размеров и количества микроструктурных составляющих и величина микроструктурных составляющих уменьшались в $\sim 1,5$ раза, а микротвердость структурных составляющих сплава увеличивалась.

Микрорентгеноспектральний аналіз сплава МЛ5, отриманого за допомогою РСХ, показав, що інтерметалідна фаза містила РЗМ, які входили в склад сплавляючого флюса і змінювали структурні характеристики металу.

Механічні властивості термооброблених зразків в сплав МЛ5 сплавляючих металів з використанням РСХ мали вищий рівень. При цьому, міцність металу збільшилася на ~ 20%, а пластичність на ~ 30%. Цьому сприяло мікролегювання металу компонентами РСХ.

Литви, виготовлені в промислових умовах з сплаву МЛ5 з використанням РСХ як флюса, мали однорідну дрібнодисперсну структуру і вищий комплекс механічних властивостей, перевищує вимоги нормативно-технічної документації. При цьому, використання РСХ дозволяє економити до 400 кг флюса ВІ-2 на тону годного і значно знизити собівартість магнієвого сплаву.

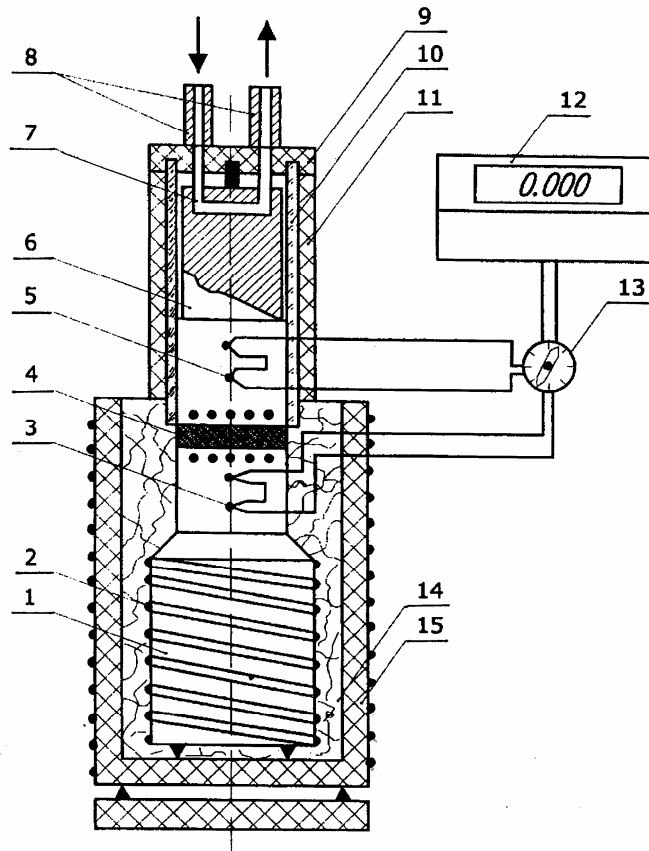
**Шаповал А.А., Романчук Б.В., Левківська О.М.,
Сауліна Ю.В., Шаповал А.А.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)**

**ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ
МЕТАЛОВОЛОКНИСТИХ І КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
boris_romanchuk@mail.ru**

Метою роботи є експериментальне дослідження впливу характеристик і параметрів металоволокнистих і композиційних пористих матеріалів (МВПМ), які застосовуються у двофазних теплопередаючих пристроях хіміко-енергетичного обладнання, на величину каркасної теплопровідності таких матеріалів. Для рішення задач роботи створено оригінальне устаткування, що дозволяє здійснювати експериментальні дослідження впливу параметрів і характеристик капілярних структур на каркасну теплопровідність λ_k . Конструкція робочої ділянки експериментальної установки показана на рис. 1.

У широкому діапазоні зміни пористості Θ , теплопровідності $\lambda_{мет}$ вихідних матеріалів (мідь та корозійностійка сталь типу 9Х18Н10Т), також – довжини фракцій волокон L (3...9 мм) та їх діаметра d (30...50 мкм) вимірювали значення каркасної теплопровідності λ_k МВКМ.

Як свідчать відомі та отримані у роботі результати розрахунків та досліджень, каркасна теплопровідність λ_k металоволокнистих структур залежить, в основному, від 3-х чинників: 1) пористості; 2) відношення (L/d) довжини дискретних волокон L до їх діаметра d ; 3) якості контактів між волокнами-фракціями. Збільшення пористості знизює величину каркасної теплопровідності; у той же час збільшення значення співвідношення L/d підвищує λ_k .



1 – мідний стрижень; 2 – основний електронагрівач; 3,5 – диференціальні термопари; 4 – дослідний зразок КС; 6 – притискний пристрій; 7 – канал водяного охолодження; 8 – штуцери підведення і відведення води; 9 – фланець; 10,11 – теплоізоляційні циліндри; 12 – мілівольтметр; 13 – перемикач термопар; 14 – теплоізоляція; 15 – термостійкий кожух; • – датові датчики теплового потоку

Рис. 1 – Робоча ділянка установки

Результати досліджень показали, що істотно на каркасну теплопровідність впливає пористість (Θ) та теплопровідність ($\lambda_{мет}$) вихідних металів, менш суттєво – довжина (l) та діаметр (d) волокон.

Отримані в роботі емпіричні формули (1,2) призначені для інженерних розрахунків каркасної теплопровідності λ_k металоволокнистих капілярних структур; вони враховують вищезазначені чинники і узагальнюють результати як відомих, так і власних досліджень. Формули мають наступний вигляд:

- 1) для МВПМ із пористістю $\Theta = 35 \dots 75 \%$: $\lambda_k = 0,0045 \cdot \Theta^{-1,6} \cdot \lambda_{мет}^{-2} \cdot (l/d)^{0,1}$;
- 2) для МВПМ із пористістю $\Theta = 75 \dots 90 \%$: $\lambda_k = 0,001 \cdot \Theta^{-7} \cdot \lambda_{мет}^{-2} \cdot (l/d)^{0,1}$.

На відміну від відомих у літературі результатів аналогічних досліджень теплопровідності пористих матеріалів запропоновані формули є простими для виконання відповідних теплофізичних розрахунків; останні необхідні для конструювання двофазних теплопередаючих пристроїв хіміко-енергетичного обладнання та устаткування, зокрема – теплових труб і термосифонів.

Шевчук М.Б., Степанчук А.М., Демиденко О.А., Смик В. М.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**ОТРИМАННЯ ПОКРИТТІВ НА ЛИВАРНИХ ВИРОБАХ З
ВИКОРИСТАННЯМ САМОФЛЮСІВНИХ СПЛАВІВ**

astepanchuk@iff.kpi.ua

Збільшення працездатності машин та механізмів, особливо тих, які працюють в умовах ударних навантажень та абразивного зносу, можливе шляхом створення на їх поверхні композиційних покриттів. При цьому для створення таких покриттів доцільно використовувати композиційні матеріали за участю гранул з твердих тугоплавких сполук та металевої зв'язки [1]. В якості останньої перспективним є використання самофлюсівних сплавів на основі заліза (СФЗ) [2], які мають відносно низьку температуру плавлення (1050...1100°C), стійкість в окислювальному середовищі та добре змочують тверді тугоплавкі сполуки, що є запорукою утворення якісного контакту між структурними складовими покриттів.

До перспективних методів створення товстошарових покриттів перш за все слід віднести литво у форму, в якій попередньо сформований на необхідній поверхні шар з суміші гранул твердої складової покриття та порошку СФЗ. У цьому випадку, на нашу думку, за рахунок тепла розплаву матеріалу основи виробу самофлюсівний сплав буде плавитись, просочувати гранули і, тим самим, буде створюватись щільне покриття з високими експлуатаційними властивостями та міцним зв'язком з матеріалом основи. При цьому важливе значення має визначення температури розплаву, яка б забезпечувала повне плавлення самофлюсівного сплаву у покритті залежно від конструкції та геометричних параметрів форми, матеріалу покриття, виду футерівки та іншого.

В роботі була розроблена теплова модель процесу виготовлення деталі з покриттям пласкої форми, яка базується на теорії теплопровідності і закономірностях зовнішнього теплообміну, що враховують процеси тепловиділення, поглинання тепла формою і розсіювання тепла в навколишнє середовище [2...4].

У цьому випадку тепловий баланс має вигляд:

$$Q_1 \geq Q_2 + q_3\tau$$

де Q_1 – кількість теплоти якою повинен володіти теплоносіє; Q_2 – кількість тепла на нагрівання легкоплавкого матеріалу; q_3 – витрати; τ – час, який необхідно витратити на нагрів легкоплавкого матеріалу до температури плавлення.

Згідно розробленої моделі були проведені розрахунки температури перегріву теплоносія із сталі 45 при отриманні покриття товщиною 8 мм з композиції литий карбід вольфраму – самофлюсівний сплав на основі заліза згідно виразу:

$$\Delta T_{\text{пер}} = \frac{am_1(2 + \frac{b+c}{d}) - C_{\text{мет}}(T_{\text{пл1}} - T_{0.1}) - q_1}{C_{p1}}$$

де $a = Q_2$; $b = q_{31}$ – витрати тепла через одношарову плоску стінку (кришка); $c = q_{32}$ – витрати тепла через одношарову циліндричну бокову стінку; $d = q_{33}$ – витрати тепла через двошарову плоску стінку (покриття + дно).

При розрахунках були використані визначені нами тепло-фізичні характеристики матеріалу покриття та форми, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізичні властивості матеріалів

Матеріал	$C_{\text{ТВ}}$, Дж/(кгК)	$C_{\text{р}}$, Дж/(кгК)	q , кДж/кг	$\alpha_{\text{вн}}$, Вт/(м ² К)	$\alpha_{\text{зов}}$, Вт/(м ² К)	λ , Вт/(мК)	$T_{\text{пл}}$, К
СФЗ	500	550	80	10800	2200	74	1323
WC							
Кераміка	-	-	-	250	129	0,8	-
Сталь 45	499	510	83	11200	2500	76,2	1723

Для наших умов, розмірів деталі і форми і матеріалу форми розрахункова температура складала 1600°C.

В роботі була проведена експериментальна перевірка отримання покриття згідно умов визначених розрахунками. Для цього вихідну суміш гранул литого карбиду вольфраму (РЕЛІТу) та порошку СФЗ засипали у форму, вирівнюванням її рівномірним прошарком та ущільнювали вібрацією. Після цього готували розплав сталі, перегрівали його до температури 1600...1650°C і заливали у форму яку закривали кришкою. Отримана таким чином деталь з товстошаровим покриттям показана на рис. 1.

Дослідження структури отриманих покриттів показало (рис. 1), що відбувається повне плавлення металеві складової (СФЗ) покриття та утворення якісного зв'язку між покриттям та основою. Отримані дані свідчать про адекватність розрахункових режимів необхідним для створення якісного покриття.

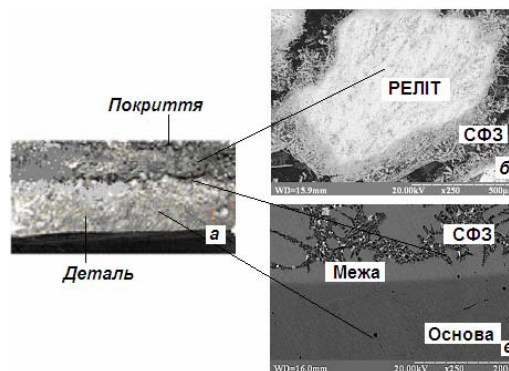


Рис. 1 – Загальний вигляд деталі з покриттям (а) та мікроструктура покриття (б) та межі поділу (в)

Література:

1. Liu Mianhuan Guo, Minhai Zhao, Changbai Wang Aiguo. Microstructures and wear resistance of large WC particles reinforced surface metal matrix composites produced by plasma melt injection // Surface & Coatings Technology. – 2007. – №201. – P.7978...7982.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.
3. Кривандин В.А., Неведомская И.Н., Кобахидзе В.В. Металлургическая теплотехника. 1-ый том. – М.: Metallurgiya, 1996. – 591 с.
4. Кривандин В.А., Неведомская И.Н., Кобахидзе В.В. Металлургическая теплотехника. 2-ой том. – М.: Metallurgiya, 1996. – 591 с.
5. Степанчук А.М., Шевчук М.Б., Бірюкович Л.О. Структуроутворення при взаємодії РЕЛПТ з розплавами самофлюсівних сплавів на основі заліза// Металознавство та термообробка. – 2012. –№2, С. 44...50.

Яким Р.С, Петрина Ю.Д*, Яким І.С. *

*(ДДПУ ім. І.Франка, м. Дрогобич); (*ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)*

**СУЧАСНІ ПІДХОДИ У ВДОСКОНАЛЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИГОТОВЛЕННЯ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ**

Jakym.r@online.ua

Сьогодні для підвищення ефективності тришарошкових бурових доліт велика увага приділяється вдосконаленню технології їх виготовлення. З цією метою розроблено комплексний метод вирішення проблеми підвищення якісних та експлуатаційних показників тришарошкових бурових доліт на усіх етапах їх створення [1]. Це добре себе зарекомендувало при впровадженні на ВАТ „ДДЗ”, сьогодні ТОВ „УніБурТех” (м. Дрогобич). Тим не менше, вибір долотних сталей та параметрів їх термічного зміцнення залишається однією з актуальних проблем долотобудування.

У вирішенні окресленої проблеми намітився комплексний підхід, який включає розробку нових марок долотних сталей, а також встановлення параметрів: виплавки долотних сталей, технологічних процесів зміцнення тощо. У цілому, встановлення надійних критеріїв застосування сталей для долотно-го виробництва спирається на вимоги технології їх виготовлення та умови їх експлуатації. Тому метою комплексних досліджень є встановлення взаємозв'язків між якісними та експлуатаційними показниками тришарошкових бурових доліт.

Аналізом відмов доліт виявлено, що шарошки виготовлені з плавок сталей 14ХНЗМА схильні до непрогнозованого крихкого руйнування. Однією причиною такого явища є утворення поверхневих і підповерхневих тріщин, спричинених неоптимальною технологією механічного оброблення і зміцнення, другою, – є утворення тріщин в тілі шарошки при повній відповідності фізико-механічних показників регламентованим вимогам технічних умов до долотних сталей (рис. 1). Відтак існуюча технологія виготовлення

доліт потребує вдосконалення у плані забезпечення якості заготовок під поковки шарошок.

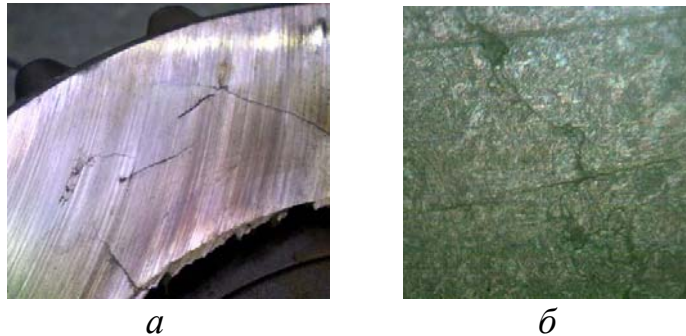


Рис. 1 – Характерні тріщини в тілі шарошки зі сталі 14ХНЗМА з показником $DI = 4,0$ (а) та мікротріщина на травленому темплеті $\times 500$ р (б)

Оскільки плавки сталі 14ХНЗМА на вхідному заводському контролі показують різні фізико-механічні властивості та різну тріщиностійкість, то на зарубіжних підприємствах придатність плавок долотних сталей оцінюють критерієм міцності DI , що прийнятий в ASTM, тому практичне значення може мати зв'язок між критеріями DI і K_{Ic}^{oc} [1]. Встановлено, що при високих значеннях DI ($< 4,0$) є спад K_{Ic}^{oc} . Одночасно, між плавками сталі з $DI=4,0$ та $DI=3,0$ різниця K_{Ic}^{oc} становить приблизно $3...6 МПа\sqrt{м}$. Таке зниження тріщиностійкості веде до крихкого руйнування цементованих шарошок.

Висновок. Недопущення крихкого руйнування шарошок можливо відмовою від плавки сталі 14ХНЗМА з $DI \geq 4,0$, або застосування технології термомеханічної обробки для виправлення структури заготовок прокату, підвищення в'язкості сталі. Цементация шарошок повинна давати задані параметри розподілу вуглецю і твердості по глибині цементованого шару, для чого ефективним є підстуджування після насичення вуглецем у середовищі ендугазу печі та дотримання точних параметрів 2-го гартування.

Література:

1. Яким Р. С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт: дис. доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Роман Степанович. – Івано-Франківськ, 2012. – 293 с.

2. РОЗДІЛ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

Богушевский В.С., Пасичник М.Г.

(НТУУ «КПІ», г. Київ)

ГИБКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧАСТОК ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

bogysh@gmail.com

Введение. Одна из основных задач по совершенствованию и расширению области применения процессов литья под давлением (ЛПД) – повышение эффективности производства путем создания комплексно-автоматизированных быстро перенастраиваемых систем оборудования и передовой технологии, обеспечивающей значительный рост производительности труда и качества литых заготовок. Основное направление развития литейного производства на современном этапе – интенсивное его перевооружение на основе гибкого автоматизируемого производства, включающего гибкие автоматизируемые линии и гибкие автоматизируемые участки (ГАУ).

Цель исследований. Создание системы – координация в реальном масштабе времени на гибком участке технологического и производственного процессов с непрерывно-дискретным характером прохождения.

Результаты исследований. На базе разработанных информационной АСУ и АСУТП комплекса ЛПД спроектирована АСУ гибким участком ЛПД для Полтавского завода “Электромотор”. В состав комплекса технических средств (КТС) ГАУ (рис. 1) входят:

– четыре литейных модуля 1...4, каждый из которых состоит из автоматизированного комплекса ЛПД 5 модели А711И08, трехсекционного роликового конвейера 6 для приема, перемещения тары и тары с отливками, роботизированной ПРП 7 с установкой для выгрузки чушек 8;

– транспортно-складское оборудование – монорельсовая подвесная дорога 9 грузоподъемностью 2,0 т типа ОПД-2 с четырьмя устройствами автоматизированного управления стрелками 10; два подвесных транспортных робота (ПТР) 11 типа РПТ-1000, один из которых находится на транспортной линии производства отливок, другой – на транспортной линии склада литья; трехсекционный перегрузочный конвейер 12...14; автоматизированный склад стеллажного типа шихтовых материалов 15 и литья 16 с передаточными секциями соответственно 17...20 и 21...24;

Отделение шихтовых материалов

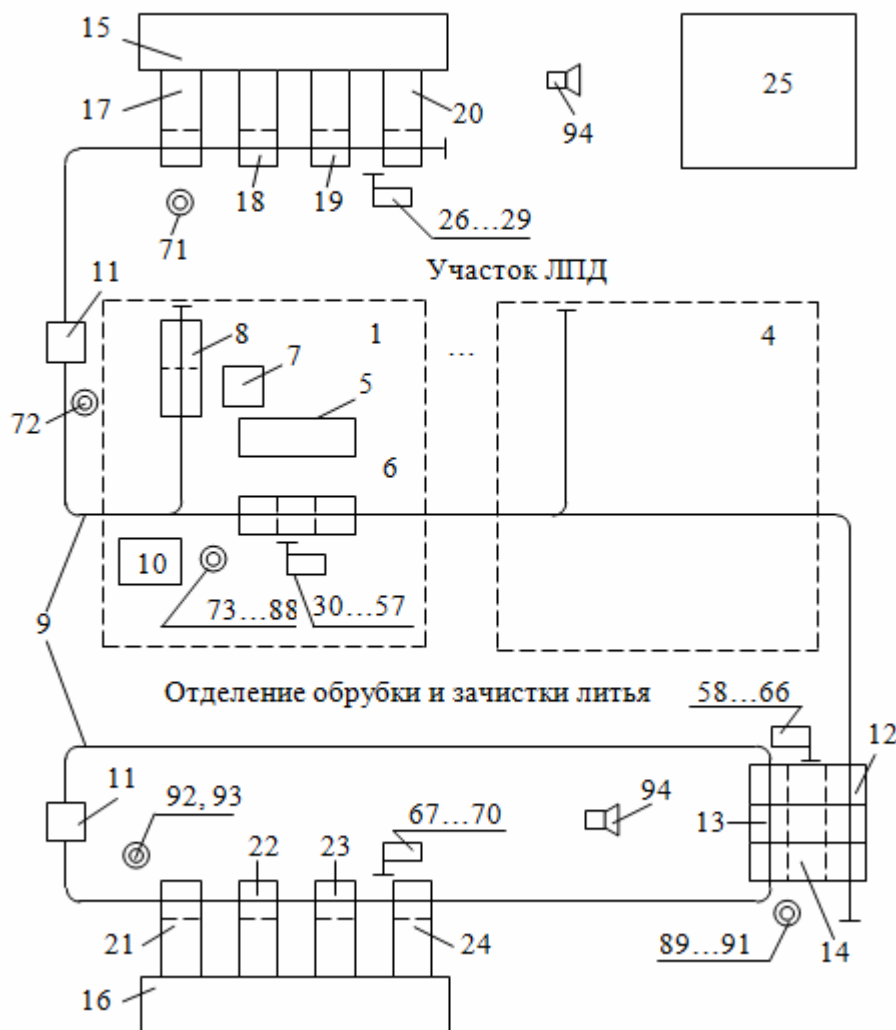


Рис. 1 – Схема КТС ГАУ ЛПД

КТС АСУ – УВК в помещении вычислительного центра (поз. 25); бесконтактные датчики положения (БДП) груза 26...70; датчики перевода режима работы оборудования 71...93; сигнальные сирены 94

Богушевський В.С., Антоневич Я.К.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ПРИСТРІЙ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПРЕС-ФОРМИ

bogysh@gmail.com

Вступ. Тепловий режим процесу формування вилівка у практиці лиття під тиском (ЛПТ) обумовлює високу інтенсивність термічної взаємодії рідкого металу зі стінками масивної прес-форми, що впливає як на рухомість сплаву, так і на стійкість прес-форми [1]. Останнє визначає ефективність процесу ЛПТ.

Мета досліджень. Підвищення точності регулювання температури.

Результати досліджень. В основу роботи пристрою регулювання температури покладено рівняння теплового балансу

$$c_{\phi} m_{\phi}^{pp} (t_{\phi} - t_3) - q \tau_{\text{ц}} = \int_{(\tau)} c_0 [1 + 0,5\alpha(t_1 + t_2)] (t_2 - t_1) V_{\tau} d\tau, \quad (1)$$

де c_{ϕ} – середня питома теплоємність ливарної форми, Дж/(кг °С); m_{ϕ}^{pp} – приведена маса ливарної форми, кг; t_{ϕ} – температура ливарної форми за показаннями термопари у момент вилучення виливка, °С; t – задана температура ливарної форми, °С; q – тепловий потік в навколишнє середовище, який залежить від конструкції ливарної форми й становить 10...20 кВт; $\tau_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, с; c_0 – питома теплоємність теплоносія при 0°С, Дж/(кг·°С); α – температурний коефіцієнт, °С⁻¹; t_2 і t_1 – температура теплоносія відповідно на виході й вході порожнини теплообміну ливарної форми, °С; τ – поточний час, с.

Пристрій регулювання температури ливарної форми (рис. 1) працює наступним чином. На початку роботи ливарна форма холодна, тому сигнал від датчика 1 не перевищує рівня, який заданий пороговим елементом 2 і в цьому випадку з його виходу на вхід блока 3 управління нагрівом буде поступати одиничний сигнал, що включає нагрівання теплоносія. Коли температура ливарної форми досягає заданої, сигнал з виходу елемента 2 зміниться на нульовий, виключаючи нагрівання теплоносія. При заливанні металу в ливарну форму вона нагрівається теплотою, яка віддається металом. При вилученні виливка короткочасний сигнал від датчика 15 відкриває ключ 13, який дозволяє запис температури ливарної форми з датчика 1 в блок 12 пам'яті.

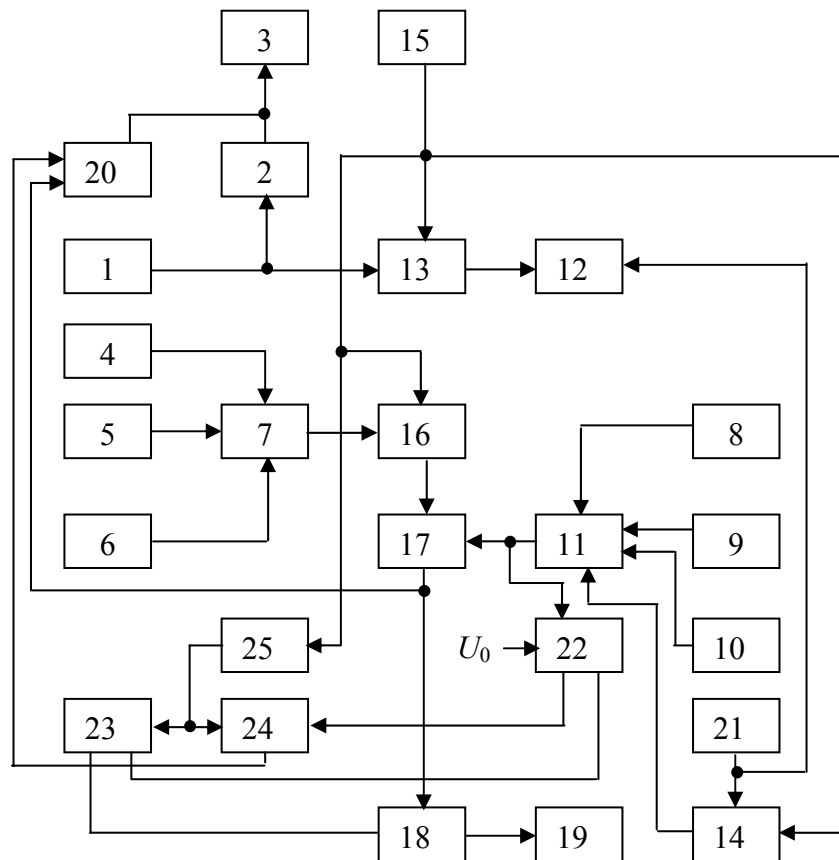


Рис. 1. – Пристрій регулювання температури

Сигнал з виходу блока 12 поступає на другий вхід обчислювального блока 11, на перший вхід якого від задатчика 9 поступає сигнал, який відповідає заданій температурі форми. На третій вхід блока 11 із задатчика 8 поступає сигнал, який відповідає приведеній масі ливарної форми, на четвертий від задатчика 10 – сигнал, який відповідає тепловому потоку від ливарної форми в зовнішнє середовище, а на п'ятий від блока 14 – сигнал, який відповідає тривалості циклу. З виходу блока 11 знімається сигнал, який відповідає лівій частині виразу (1).

Цей сигнал порівнюється з опорним сигналом U_0 блока порівняння 22 і в разі перевищення поступає на перший вхід схеми 23 І, а в протилежному випадку на перший вхід схеми 24 І. На другі входи схем 23 і 24 через блок 25 затримки поступає одиничний короткочасний сигнал від датчика 15 вилучення виливка. Таким чином, після вилучення виливка в залежності від нагріву прес-форми і значення теплових втрат в навколишнє середовище з виходів схем 23 або 24 відповідно поступають і запам'ятовуються одиничні сигнали у блоках 18 або 20 пам'яті. Ці сигнали поступають відповідно на блоки управління охолодженням 19 або нагрівання 3.

Висновки: пристрій забезпечує нагрівання або охолодження теплоносія протягом визначеного часу, що забезпечує регулювання температури прес-форми з більш високою точністю.

Богушевський В.С., Забайрацький М.І., Мамчик Д.В.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ТЕРМОСТАТУВАННЯ ПРЕС-ФОРМИ

bogysh@gmail.com

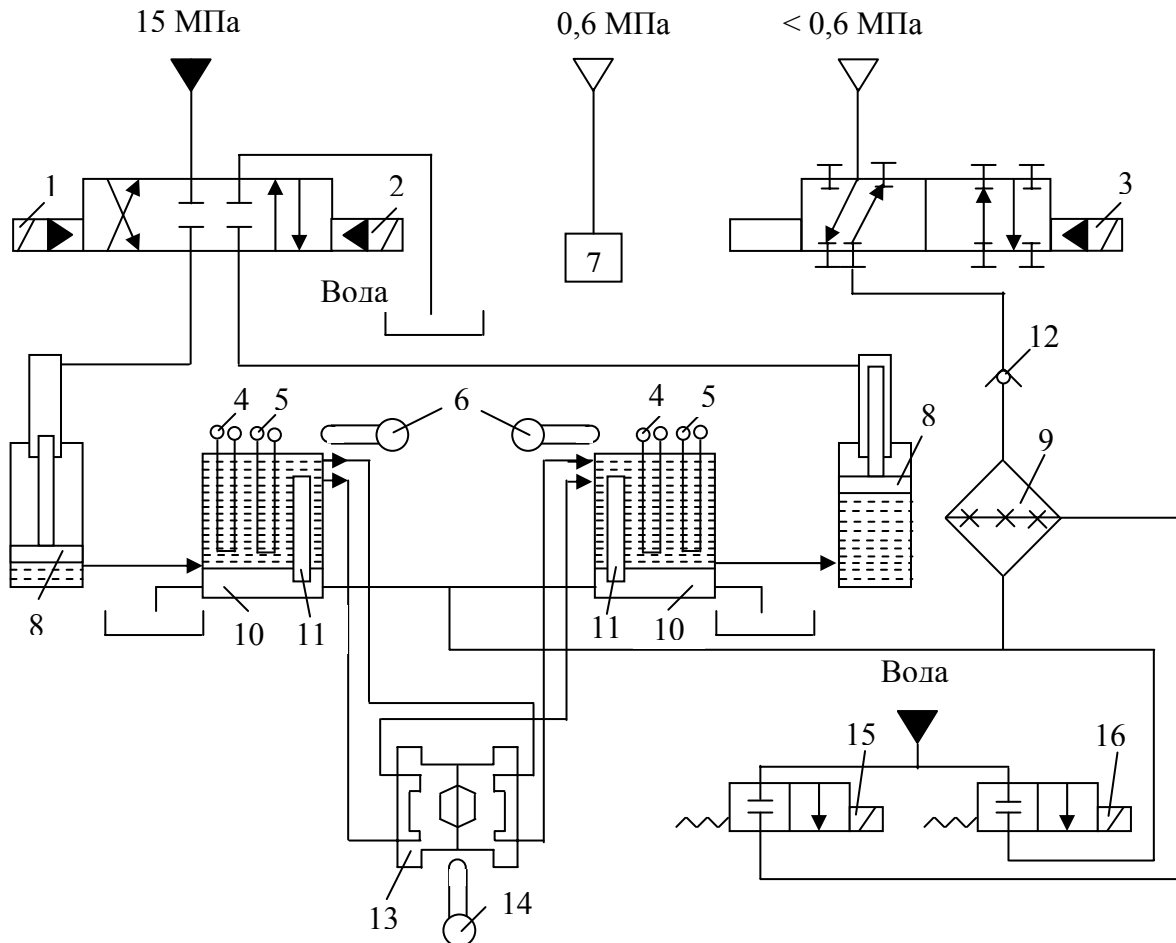
Вступ. У практиці лиття під тиском (ЛПТ) для попереднього розігріву прес-форми використовуються пальники й електронагрівачі. В останній час для цієї мети як в Україні, так і за кордоном поширюються установки для підігріву й охолодження форми рідкими теплоносіями [1]. Найбільш важливий вузол – термостат, що зв'язаний з каналами нагріву-охолодження прес-форми гнучкими з'єднувальними рукавами.

Мета досліджень. Підвищення точності термостабілізації прес-форми.

Результати досліджень. Термостат представляє собою теплоізолюваний, заповнений теплоносієм бак (рис. 1), який працює наступним чином.

Температура регулюється періодичним прокачуванням через теплообмінні канали у порожнині прес-форми 12 високотемпературної рідини. Температура рідини регулюється у двох теплообмінниках 10, кожний з яких знаходиться у режимі нагріву або охолодження. Теплоносій перекачується насосом відповідного теплообмінника. Термостатуюча рідина до заданої температури нагрівається двома теплоелектронагрівачами (ТЕН) 4, 5 і контролюється термопарами 6 типу ТХК. Термостат 10 охолоджується водою з допомогою теплових труб 11. Щоб запобігти руйнуванню теплообмінника при різкому пароутворенні холодоагенту на початку електромагнітами 3 і 15 подається водо-повітряна суміш, яка поступово включенням електромагніта 16 перево-

диться на водяний компонент (електромагніти 3 і 15 при цьому відключаються). Присутність повітря в магістралі контролюється з допомогою реле тиску газу 7. Тепловий режим термостату управляється за показаннями термопари 14, що установлена у прес-формі 13. В табл. 1 наведено порядок включення електромагнітів і ТЕН термостата в залежності від діапазонів відхилення температури прес-форми, Δt .



1, 2, 3, 15, 16 – електромагніти; 4, 5 – ТЕНи; 6, 14 – термопари;
7 – реле тиску газу; 8 – насос; 9 – змішувач; 10 – теплообмінник; 11 –
теплова труба; 12 – зворотний клапан; 13 – прес-форма

Рис. 1 – Структурна схема термостатування температури прес-форми

Таблиця 1 – Порядок включення електромагнітів і ТЕН термостата

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Електромагніти		ТЕН		Характер теплового діяння на термостатуючу рідину
	1 (2)	16 (3, 14)	4	5	
> 5	+				Охолодження
від 0 до 5					Без зміни
від 0 до -2,5	+	+	+		Нагрівання
від -2,5 до -5	+			+	Нагрівання
< -5	+		+	+	Нагрівання

Висновки: підвищення точності термостабілізації прес-форми збільшує тривалість її експлуатації.

Богушевський В.С., Меженський О.М., Сирбу Ю.І.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ
bogysh@gmail.com

Вступ. В даний час литво під тиском (ЛПТ) є одним із найбільш розповсюджених спеціальних способів виготовлення високоточних виливків із кольорових сплавів на основі алюмінію, міді, цинку, магнію. Основним недоліком ЛПТ є висока собівартість виливків, яка в значному ступені (до 75%) визначається витратами на проектування і виготовлення прес-форм, а також експлуатаційною стійкістю прес-форм. Остання в значній мірі залежить від кількості теплосмін і теплових ударів. Зменшення кількості цих небажаних явищ досягають використанням термостатів, які підтримують заданий тепловий потік до прес-форми від робочої рідини, яка проходить каналами прес-форми. Однак при цьому не враховується цілий ряд параметрів, які впливають на температуру прес-форми (накип в каналах прес-форми, товщина шару мастила).

Мета досліджень. Підвищення точності термостабілізації прес-форми.

Результати досліджень. При попаданні рідкого металу в ливарну форму остання нагрівається, причому товщина шару від робочої поверхні форми, в якому виникає значний температурний градієнт, становить біля 30 мм. Середню температуру пограничного шару контролюють з допомогою термопари, гарячий спай якої устанавлюють на глибині, яка дорівнює половині пограничного шару. Таким чином, можна вважати, що надлишкова ентальпія ливарної форми внаслідок нагріву виливком зосереджена у деякій приведеній масі m_{ϕ}^{np} , кг, яка дорівнює

$$m_{\phi}^{np} = Km_{\phi}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від маси форми і дорівнює 0,10...0,14; m_{ϕ} – маса ливарної форми, кг.

Надлишкову ентальпію ливарної форми можна визначити як

$$\Delta Q = c_{\phi} m_{\phi}^{np} (t_{\phi} - t_3), \quad (2)$$

де ΔQ – надлишкова ентальпія ливарної форми, Дж; c_{ϕ} – середня питома теплоємність ливарної форми, Дж/(кг·°C); t_{ϕ} – температура ливарної форми за показаннями термопари у момент вилучення виливка, °C; t_3 – задана температура ливарної форми, °C.

Для робочого діапазону температур (150...300 °C) середня питома теплоємність ливарної форми становить 500 Дж/(кг·°C).

Надлишкова ентальпія ливарної форми компенсується охолодженням з допомогою теплоносія і теплових втрат у навколишнє середовище відповідно виразу:

$$\Delta Q = \int_{(t)} c_T (t_2 - t_1) V_T d\tau + q\tau_{ц}, \quad (3)$$

де c_T – середня питома теплоємність теплоносія, Дж/(м³ °C); t_2 і t_1 – температура теплоносія відповідно на виході і вході порожнини теплообміну ливарної форми, °C; τ – поточний час, с; q – тепловий потік в навколишнє середовище, який залежить від конструкції ливарної форми й становить 10...20 кВт; $\tau_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, с.

Середня питома теплоємність теплоносія може бути визначена як

$$c_T = (c_0[1 + 0,5\alpha(t_1 + t_2)]), \quad (4)$$

де c_0 – питома теплоємність теплоносія при 0°C, Дж/(кг·°C); α – температурний коефіцієнт, °C⁻¹.

Із співвідношень (2)...(4) отримуємо:

$$c_{\text{ф}} m_{\text{ф}}^{\text{пр}} (t_{\text{ф}} - t_3) - q\tau_{\text{ц}} = \int_{(\tau)} c_0[1 + 0,5\alpha(t_1 + t_2)](t_2 - t_1)V_{\text{T}} d\tau. \quad (5)$$

Рівність правої і лівої частини виразу (5) визначається часом подання теплоносія. Таким чином, подання теплоносія потрібно закінчити в момент досягнення рівності виразу (5).

Висновки. Регулювання температури прес-форми з урахуванням її теплового балансу дозволяє суттєво зменшити кількість тепломінів і теплових ударів на робочій поверхні, що підвищує тривалість експлуатації форми.

Гресс А.В., Стороженко С.А., Васик А.И.

(ДГТУ, г. Днепродзержинск)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ КОВШЕ

Внеагрегатная обработка жидкой стали в ковше является одним из наиболее эффективных направлений коренного повышения качества и потребительских свойств металлопродукции массового назначения в металлургии и, в частности, в литейном производстве.

Исследование процессов внеагрегатного легирования, микролегирования, раскисления, доводки, рафинирования и модифицирования стали экспериментальным путем достаточно трудоемко и требует оригинального и дорогостоящего оборудования, что в ряде случаев практически невозможно. Одним из способов решения поставленной задачи является математическое моделирование.

Среди известных методов математического моделирования процессов плавления следует особо выделить метод с явным выделением границы плавления. В основу метода положена идея динамической адаптации расчетной сетки, выполняемой посредством перехода к произвольной нестационарной системе координат. Преобразование координат осуществляется автоматически с помощью искомого решения. Такой подход позволяет в значительной мере уменьшить количество узлов в расчетной сетке, а, следовательно, и повысить эффективность метода, в том числе при сопровождающей процесс плавления реакентов частой смене граничных условий, хотя при решении уравнений математических моделей объекта (дифференциальных уравнений

в частных производных) использовался известный метод конечных разностей.

Исследовали плавление одно- и многослойных тел цилиндрической и сферической формы. В качестве исходных данных при задаче граничных условий использовали результаты физического моделирования гидродинамики жидкого металла в литейных ковшах с различным типом перемешивания и конструкции.

В результате вычислительного эксперимента определена кинетика плавления различных материалов в зависимости от их геометрических характеристик, места ввода в литейный ковш и условий тепломассообмена. Найдены условия формирования и оплавления настывлей на поверхности реагентов. Предложены геометрические параметры добавок, режимы их ввода. Все это в совокупности позволит интенсифицировать процесс усвоения добавок в жидкой ванне при минимальной их степени угара.

Жук С.В., Грабівський К.П.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

**ВИКОРИСТАННЯ CALS-ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ НОВОГО
ОБЛАДНАННЯ
scarafaggio@ukr.net**

Ефективна розробка нових процесів, виробів, агрегатів потребує використання самих сучасних інформаційних систем. Найбільш перспективною системою комп'ютерної підтримки являється CALS-технологія (Continuous Acquisition and Life cycle Support – безперервна інформаційна підтримка життєвого циклу продукту). Застосування CALS-технологій дозволяє суттєво скоротити об'єми проектних робіт, вирішити проблеми інтеграції продукції в різного роду системи і середовища. Для створення CALS-технології використовуються різноманітні CAD/CAM/CAE/PDM – системи. Окремі модулі цих систем в рамках одного проекту дозволяють здійснювати інженерні розрахунки, аналіз, моделювання і оптимізацію проектних рішень, дво-, тривимірне моделювання деталей і складальних одиниць, розробку технологічних процесів, синтез управляючих програм для технологічного обладнання, моделювання процесів обробки.

При розробці нового металургійного обладнання в рамках CALS-проекту була створена типова схема (протокол застосування) – «Вихідні дані для проектування». У відповідності зі стандартом по машинобудуванню та металургії, всі обов'язкові розділи занесені в інформаційну систему. Конструкторське електронне описання у відповідності до стандарту STEP містить структуру і варіанти конфігурації обладнання, геометричні моделі і креслення, властивості і характеристики складових частин.

Розробка проектної документації проводилася із застосуванням програмного забезпечення для автоматизованого проектування AutoCAD. Всі одиниці обладнання являються елементами CALS-проекту з відповідними кресленнями і специфікаціями.

В рамках роботи була розроблена екранна форма інформаційного CALS-проекту з модулями: «Моделювання матеріалів складових частин агрегату» та «Моделювання температурного режиму в робочому просторі». Етапи моделювання включають в себе 3D-модель вузла, визначення теплофізичних властивостей матеріалів, встановлення граничних умов (відтворення реального технологічного процесу). Побудова складних моделей забезпечує можливість проведення багатоступінчастих розрахунків, які максимально наближають розрахунковий експеримент до технологічного процесу. Тільки ретельне моделювання всіх умов дозволяє адекватно відтворити технологічний процес.

В інформаційну модель «Моделювання матеріалів складових частин» увійшли дослідження, які пов'язані з використанням матеріалу для виготовлення тієї чи іншої складальної одиниці в залежності від способу виготовлення, економічної доцільності та середовища експлуатації. Інформаційний модуль «Моделювання температурного режиму в робочому просторі» дозволяє провести термодинамічний аналіз процесу, який буде протікати в робочому просторі агрегату, що проектується з урахуванням конструктивних особливостей, співвідношення вихідних компонентів, температури і тиску. Моделювання температурного режиму дозволяє вибрати необхідні умови протікання реакцій з мінімальними енерговитратами, а також оцінити механізм термодисоціації вихідних з'єднань.

CALS-технології слугують середовищем, за допомогою якого інтегрують промислові автоматизовані системи в єдину багатофункціональну систему. CALS-технології дозволяють не тільки скоротити термін впровадження нових виробів, агрегатів, але і здійснюють суттєвий вплив на технологію виробництва, дозволяють підвищити якість і надійність продукції, яка випускається, тим самим підвищують її конкурентоспроможність. Зокрема шляхом комп'ютерного моделювання складних виробів проектувальник може економити на вартості виготовлення фізичного прототипу. Єдиний інформаційний простір забезпечується завдяки уніфікації як форми, так і змісту інформації про конкретний виріб, вузол, агрегат на різних етапах їх життєвого циклу.

Красноухова Е.А.
(НТУ «ХПИ», г. Харків)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ
3ir04ka@rambler.ru

Математическое моделирование литейных процессов, разработка технологии изготовления и анализ различных возможных вариантов изготовления отливки – сегодня самый действенный, надежный и широко распространенный в мире способ разработки технологии литья, позволяющий снизить затраты как на подготовку производства, так и на само производство отливок. Изготовление опытной партии и отработка технологии на экране, а не на производственной площадке.

Следовательно, для расчета изменения геометрии отливки при ее остывании от температуры заливки до температуры окружающей среды, включая возможные разрушения, необходима специализированная математическая модель. Для прогноза трещин и коробления в литом изделии, требуемая математическая модель должна учитывать контактное взаимодействие отливки с формой. Такую ММ имеет в своем составе СМ ЛП. Эта модель использует законы механики и не моделирует напрямую процессы, относящиеся к области металловедения, такие как развитие фазовых напряжений, структурные превращения, рост зерен. Но эти критерии учтены через экспериментальные изменения механических свойств сплавов при различных температурах.

ММ процесса основана на теории квазиравновесной двухфазной зоны. В связи с этим отсутствие переохлаждения на фронте кристаллизации заменено кинематическими уравнениями роста фаз и диффузией компонентов сплава в расчете.

Вследствие того, что диффузионные процессы идут не только внутри фаз, но и на их поверхности, диффузионные потоки выражаются не в концентрациях, а через активности компонентов. В поставленной задаче присутствует еще одна фаза – графит, для которого уравнение диффузии ранее не считали. Эта фаза – постоянного состояния, и ее взаимодействие с растворами ограничено балансом углерода при изменении фазовых состояний.

Таким образом, система уравнений ММ может быть записана в следующем виде:

$$1. \frac{d\rho}{dt} + d_i(\rho V_i) = 0 \quad - \text{закон сохранения массы};$$

$$2. \frac{d(\rho V_i)}{dt} + d_j(\rho V_i V_j) - d_j(\mu [d_i V_j + d_j V_i]) = -d_{ip} - \rho g_i \quad - \text{закон сохранения импульса};$$

$$3. \rho c_p \left(\frac{dT}{dt} + \text{div } VT \right) = \text{div } (\lambda \text{ grad } T) + q_{\Phi} \frac{dS^{\Phi}}{dt} \quad - \text{закон сохранения энергии};$$

$$4. \frac{d}{dt} (LC^L) + \sum \left(\frac{d}{dt} (S^{\Phi} c^{\Phi}) \right) = \nabla J - \nabla (L \bar{V} C^L) \quad - \text{закон сохранения вещества};$$

$$5. \frac{dS^{\Phi}}{dt} = \beta^{\Phi} (T_{LS}^{\Phi} - T) \quad - \text{кинетическое уравнение};$$

$$6. \quad - \text{уравнение состояния},$$

где ρ – средняя плотность вещества; V_i – компонент скорости течения расплава; g_i – компонент ускорения свободного падения; T – локальная температура; T_L – температура ликвидус; T_S – температура солидус; L – доля жидкой фазы; S^{Φ} – доля твердой фазы; C – теплоемкость; q_{Φ} – теплота фазового перехода; λ – теплопроводность; C^L – концентрация примесей в расплаве; c^{Φ} – концентрация примесей в твердой фазе; J – плотность потока примесей через

поверхность элементарного объема; β – кинетический коэффициент роста твердой фазы.

Литература:

1. Блинные А.Е. Разработка новых методов организации технической подготовка в литейном производстве.– Москва.– 2008 – №8 – С. 32...34.
2. Кучин П.С., Мальцев Д.Н. Математическое моделирование процессов литья металлов и сплавов. – Москва. – 2008. – №10 – С. 37...39.

Лысенко Т.В., Бавнегра Л.В., Рафаловский А.Н.
(ОНПУ, г. Одесса)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ DELCAM
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ХУДОЖЕСТВЕННОГО
И ЮВЕЛИРНОГО ЛИТЬЯ**
tv112@list.ru

В настоящее время в мире используются десятки различных программных продуктов, связанными с литейными технологиями, которые имеют свои особенности, используют различные вычислительные методы, математические алгоритмы и физические модели, в разной степени удовлетворяющие запросы того или иного потребителя. При выборе конкретной компьютерной системы или пакета пользователь должен исходить из своих финансовых возможностей, а также из объема задач, которые необходимо решить с использованием современного научного инструментария [1].

Тенденции в производстве ювелирных украшений и художественных отливок меняются в наши дни значительно чаще, чем раньше. Перед современным ювелирным и художественным литьем стоит задача создания изделий, удовлетворяющих запросам современного человека [2].

Для решения этой задачи с успехом используются современные информационные CAD/CAM-технологии компании Delcam.

Данный класс информационных технологий позволяет снизить издержки производства художественных и ювелирных изделий, а также оснастки для их изготовления, при существенном повышении эффективности, сокращении цикла выпуска изделия и сроков его запуска, что особенно важно для работы в условиях динамично изменяющейся конъюнктуры современного рынка. Развитие CAD/CAM-технологий позволило совершенствовать этапы дизайнерской проработки изделия, создания прототипов и опытных образцов, в результате чего появились благоприятные предпосылки для оперативной смены изделия в соответствии с требованиями маркетинговой стратегии без отвлечения значительных ресурсов на корректировку конструкции и технологических процессов [3].

Для решения задач, связанных с проектированием и моделированием ювелирных и художественных отливок, с успехом используется программно-аппаратный комплекс ArtCAM JewelSmith. Инструменты системы позволяют создавать художественные объемные объекты сложной формы на основе

плоских эскизов. В системе ArtCAM JewelSmith существует инструмент "интерактивный скульптор". С его помощью можно динамически сгладить имеющийся объект или создать новый, посредством компьютерной "мыши" или дизайнерского планшета. ArtCAM JewelSmith позволяет накладывать на определенные области объекта объемные текстуры. Узор текстуры можно выбрать из предложенных системой или создать самому по плоскому эскизу. ArtCAM JewelSmith имеет большой набор встроенных инструментов, позволяющих дизайнерам создавать кольца как традиционных, так и всевозможных оригинальных форм. Система поддерживает стандарты размеров различных стран. ArtCAM JewelSmith включает в себя специальные интеллектуальные помощники, которые помогают в создании различных элементов колец. Система позволяет собрать кольцо из различных элементов, выбранных из базы данных или созданных самостоятельно, дополнить дизайн камнями и визуализировать фотореалистичное изображение будущего изделия на экране монитора.

Для передачи 3D-объекта в другие системы или изготовления мастер-моделей с помощью установки быстрого прототипирования ArtCAM JewelSmith может сохранять файлы в формате STL. Функционал системы позволяет также импортировать данные для редактирования или расчета управляющих программ для станков с ЧПУ в формате STL, подготовленные в различных системах моделирования.

Для проектирования литейной оснастки с успехом может быть использована система автоматизированного моделирования PowerShape, которая является одним из представителей семейства программных продуктов нового поколения фирмы Delcam, объединенных под именем PowerSolution. Данная программа является удобным инструментом, позволяющим реализовать на компьютере любые дизайнерские идеи и решить самые сложные конструкторские задачи. Отличительной особенностью системы PowerShape является гибридное поверхностно-твердотельное моделирование, позволяющее создать математическую модель реальной литейной оснастки любой геометрической сложности. Универсальность системы PowerShape достигнута возможностью оперировать объектами, представленными в различных математических формах: Безье, B-Spline и G2 – кривые; Безье и NURBS – поверхности. Динамическая 3D графика системы PowerShape позволяет вращать модель и получать изображение из любой точки пространства, а закрашивание модели дает фотореалистичное представление о будущем изделии.

На кафедре Технологии и управления литейными процессами Одесского национального политехнического университета уже несколько лет с успехом используются в учебном процессе продукты фирмы Delcam.

Литература:

1. Тарасевич Н.И., Корниец И.В., Тарасевич И.Н. Сравнительный анализ систем компьютерного моделирования металлургических и литейных процессов // *Металл и литье Украины*. – 2010. – №5. – С.20...25.
2. Корытов А.В., Козлова Т.В. Концепция развития и совершенствования технологий дизайнерского проектирования ювелирных украшений //

Информационно-методический журнал для профессионалов «FASION, MARKETING, DESIGN». – 2003. – № 5. – С.72...75.

3. Медведев Ф.В., Нагаев И.В. Автоматизированное проектирование и производство деталей сложной геометрии на базе программного комплекса PowerSolution: Учеб. пособие / Под общ. ред. А.Г. Громашева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – 167 с.

Самарай В.П., Самарай Р.В., Самарай І.М.
(КМУ, з.Київ)

МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕОРІЇ ГРАФІВ
samaraj@ukr.net, samaraj65@mail.ru

Ефективне ухвалення рішень з управління складними системами (СС) на виробництві – виробничими, економічними, інформаційними, енергетичними, соціальними, освітніми, системами забезпечення матеріалами, кадрами, обладнанням, оснащення й переоснащення та ін. потребує використання формалізованих моделей керованих систем і об'єктів. Але існує проблема ефективного застосування існуючих класичних моделей. Особливого значення проблема набуває при їх комплексному впровадженні та саме в критичних, нестандартних, непередбачених ситуаціях, через повний або переважний розвал економіки, в умовах, які визначаються не економічною стабільністю, а перехідними процесами в результаті політичних, екологічних і економічних криз, зміни політичних курсів і пріоритетів.

Для таких СС виключно економічне планування не обов'язково є єдиною або головною метою управління. В цьому випадку в перехідні періоди головна мета управління спрямовується, перш за все, на виявлення і подолання нестабільності, тупикових ситуацій, на підтримку в СС стабільних системоутворюючих процесів, на переорієнтацію виробництва, пошук оптимальних напрямків розвитку і перепланування. У разі наукових пошуків системний аналіз, кібернетичні методи, математичне моделювання спрямовуються на планування, проведення і аналіз експериментальних випробувань, натурних та обчислювальних експериментів, інформаційних досліджень опублікованих праць, для чого ставляться відповідні мета і задачі.

Системний аналіз (СА) поєднується з моделюванням, оптимізацією, діагностикою структури і функціонування СС, з прогнозуванням параметрів СС і можливих процесів, тенденцій, ситуацій, станів, поведінки. Для ухвалення найефективніших рішень з коректування тупикових і небажаних ситуацій і при ідентифікації функціональних порушень СС необхідно отримати уявлення про її структуру, внутрішній і зовнішній взаємовплив складових СС і сусідів зовні.

Для моделювання СС одними з найефективніших представляються моделі теорії графів: когнітивні моделі, мережі Петрі, ланцюги Маркова, системи масового обслуговування (СМО), алгоритми, імітаційні моделі, потокові оптимізаційні моделі, нейронні мережі, семантичні мережі експертних систем (ЕС), кінцеві і клітинні автомати (КА), фрактали. Найзагальнішим, від-

правним, базовим для подальшого розгляду, аналізу і моделювання представляється когнітивна модель, на основі якої вже можна побудувати і складніші види графів – динамічні і стохастичні графо-аналітичні моделі СС:

1) Потоків моделі оптимізації (на графах) дозволяють во всесвітньовідомих задачах “про МАХ потік і МІН перетин”; “потоків транспортній задачі”; задачах “про потік МІН вартості”; “про пошук МІН шляху”; “про пошук критичного шляху”; “комівояжера”; “немережевій транспортній задачі”; багатовимірних транспортних задачах і інших:

- вирішувати задачі оптимальної організації потоків, транспортування енергії, матеріалів, кадрів, оснащення, обладнання, фінансів, знань та інформації тощо з визначенням маршрутів;

- знаходити вузькі місця в структурі виробничих СС, максимальні швидкості, обсяги й терміни транспортування;

- визначати найкоротші або, навпаки, критичні шляхи на графах, тривалість і мережні графіки при плануванні наукових і дослідницьких, фінансових і економічних, інформаційних і енергетичних, освітніх і ін. проектів, операцій, заходів, направляти все необхідне саме на “критичні шляхи”.

2) Ланцюги Маркова, СМО, Семантичні мережі ЕС, нейронні мережі – дозволяють по аналогії з регресійними моделями прогнозувати, оптимізувати, діагностувати події на основі статистичних спостережень і теорії вірогідності.

3) Кінцеві і клітинні автомати, фрактали – дозволяють моделювати і прогнозувати ситуації, стани, поведінку, параметри СС.

Враховуючи необхідність побудови найадекватніших і найефективніших моделей для аналізу і ухвалення рішень в умовах хаосу, протидії й протистояння, конкуренції, конфліктів, невизначеності або кооперації виникає потреба застосування не простих, а достатньо складних графо-аналітичних моделей, тобто з багатьма чинниками, динамічних, стохастичних і навіть нелінійних і багатовимірних. Саме таким вимогам відповідають динамічні моделі на сітях Петрі (СП) і імітаційні моделі. Імітаційні моделі легко інтегрують в себе всі можливі види інших моделей, а прості СП можуть бути легко ускладнені до так званих “кольорових”, “тимчасових”, “вірогідностних”, “функціональних”, “ієрархічних”, “інгібіторних” (“гальмівних”) і інших видів СП. В СП (програмі CPN-TOOLS і ін.), імітаційних моделях на алгоритмічних мовах і в математичних програмах (Lab-VIEW, MathLAB, EXCEL і ін.) можливо реалізувати багатовимірність будь-якої складності. Існують правила взаємного перетворення “мережевого графіка”, імітаційної моделі, алгоритму, СП, когнітивних карт і інших графо-аналітичних моделей.

Для збагачення методів графо-аналітичного моделювання представляють інтерес дослідження соціальних мереж, мережні моделі спинів з енергією Ізінга і графічні моделі Д.Уоттса і С.Строгатца, які запропонували такий параметр графів і мереж, як коефіцієнт кластерності, який визначає рівень зв'язності вузлів в сітці і тенденцію до створення взаємозалежних вузлів (“кліків”). Окрім іншого, коефіцієнт кластерності показує, скільки сусідніх вузлів є також сусідніми вузлами один для одного. В аналізі СС цей показник

характеризує ступінь зв'язку, впливу, довір'я, обміну, товарообігу, взаємодії, торгівлі, партнерства або навпаки – тиск і протиборства між конкуруючими об'єктами в СС, підприємствами, галузями, державами і наддержавними економічними структурами, а також може вдало характеризувати прикладні властивості вузлів і зв'язків мереж та кількість ступенів вільності.

В теорії графів можна досліджувати особливості структури і статистичні властивості, що характеризують поведінку графів і мереж, прогнозувати динамічні зміни і відстежувати вплив таких характеристик, як: розмір графа, мережна густина, ступінь централізації і децентралізації й т.ін.

У наукових дослідженнях процеси перенесення, наприклад, перетікання і ущільнення формувальної суміші, заливку рідких сплавів у ливарні форми, процеси кристалізації, енергетичне забезпечення та транспортування і інші розрахунки часто моделюють клітинними автоматами (КА). Оскільки КА є сусідами з шістьма комірками, то вони схожі на модель Уоттса і Стратта. КА може бути в одному з декількох можливих станів, які залежать від попереднього стану і стану сусідніх КА (на відміну від ланцюгів Маркова, в яких стан залежить тільки від поточного стану, але не від попередніх). КА перспективно використовувати з моделями теорії ігор в задачах кооперації і конкуренції. Крім того, чотирьох- і шестимірні КА двох- і трьохмірної однорідної сітки легко перетворити в граф будь-якої мірності, оскільки кількість вхідних і вихідних ребер у вузлах графів не обмежена.

В якості графо-аналітичної моделі варто згадати і теорію хаосу, результатом якої є самоподібний фрактал, тобто стохастичний граф особливої будови – ієрархічний, зручний для всіх видів класифікацій, дискримінантного і кластерного аналізу і, який ліг в основу ієрархічних баз даних, у тому числі - в багато сегментів всесвітньої павутини і всесвітньої бази даних INTERNET.

Наведені моделі включають принципи детермінованого і стохастичного, багатоагентного і системно-динамічного підходів, а також два синергетичних підходи: моделі спинів, нейронні мережі і кластерний аналіз. Слід згадати про “паралельні тирони” і масштабно-інваріантні мережі.

Великий інтерес являють “чутливі крапки” СА – найчутливіші вузли на графах – місця, в яких навіть невеликий зсув може призвести до великих змін у всій СС. “Чутливі крапки” дають силу і владу у виробничих і інших організаційних СС, а також визначають місця важливих дослідницьких пошуків в наукових напрямках. При ідентифікації порушень СС треба мати уявлення про “чутливі крапки”, про структуру процесів і взаємозв'язки в СС, щоб ухвалити найефективніші рішення по коректуванню ситуацій. Цільова функція і система обмежень СС, мають описати емерджентність і взаємостосунки об'єктів в СС. Необхідно врахувати внутрішню та зовнішню нелінійність СС, збільшення емерджентності в часі, зростання зв'язків і взаємну дифузю підсистем. Таку поведінку описують аналітичними формулами еволюції або в графах і мережах енергією Ізінга. В когнітивних моделях можна зробити відповідні розрахунки, в СП – визначити “чутливі крапки” динамічним моделюванням в трьох можливих режимах СП:

- покроковому – з відстеженням станів у вершинах і, особливо, в “чутливих крапках”, та процесів в переходах і ребрах;
- автоматичному – з візуалізацією всіх можливих векторів станів СС;
- автоматичному – з фіксацією всіх можливих тупикових ситуацій в СП за певних початкових і граничних умов.

Література:

1. Дьячко А.Г. Математическое и имитационное моделирование производственных систем: Научное издание. – М.: МИСИС, 2007. – 540 с.
2. Колодницький М.М. Основи теорії математичного моделювання систем: Навчально-довідниковий посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – Том 1. – 718 с.
3. Литейные системы и их моделирование / А.А.Бречко, Л.Г.Атливаник, Ю.Г.Поляков, А.И.Щаников, Н.Г.Бречко. – Л.: Машиностроение, 1975. – 248 с.
4. Згуровский М.З., Доброногов А.В., Померанцева Т.Н. Исследование социальных процессов на основе методологии системного анализа. – К.: Наукова думка, 1997. – 223 с.
5. Моделювання міжнародних відносин : Навч. посіб. / [Р.В. Вовк]. – К.: Знання, 2012. – 246 с.
6. Кублій Л.І. Прогнозування на основі ланцюгів Маркова // Збірник праць науковців у сфері міжнародної інформації: наукове видання / За загальною редакцією доц. Коломійця О.В. – К. : Київський міжнародний університет, 2009. – 216 с.
7. Уфимцев Роман. Пролог 46. Параллельный тирон [Электронный ресурс]//Когнитивист.– www.cognitivist.ru/er/kernel/prologi_46_parallel_tiron.xml

Соценко О.В., Бобров Б.Б.

(НМетАУ, г. Днепрпетровск)

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ДОМЕННЫХ
ХОЛОДИЛЬНИКОВ
Sotsenko@mail.ru**

Для усовершенствования существующей технологии литья доменных холодильников (рис. 1) была проведена серия модельных компьютерных экспериментов с использованием комплекса пакетов программ SolidWorks – LVMFlow. Габаритные размеры отливки 2000 x 1000 x 300 мм. Материал холодильной плиты СЧ20, змеевика – сталь 25Л. На первом этапе воссоздали отливку со стандартным выпором с диаметрами оснований 120 мм и 140 мм.

Результаты эксперимента показали, что газоусадочные дефекты располагаются над стальным змеевиком (рис. 2, а). В отливке, залитой с боковым питающим выпором, расположенным с углом наклона относительно нижнего основания 25°, дефекты также расположены преимущественно над стальным змеевиком. Этот вариант также не дал никаких преимуществ по сравнению с обычной технологией (рис. 2, б).

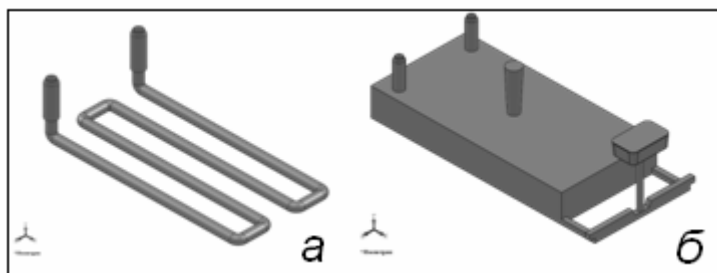


Рис. 1 – Змеевик (а), модель холодильника (б)

Использование двух питающих выпоров в местах наибольшего сосредоточения усадочных дефектов с целью их большей локализации также оказалось недостаточно эффективным (рис. 2, в). Применение небольших закрытых прибылей, хотя и дает незначительные преимущества по сравнению с вариантами, рассмотренными выше, также оказалось мало приемлемым. При этом удалось установить, что расположение небольших прибылей на отливке большим основанием вверх или вниз не оказывает заметного влияния на расположение усадочных дефектов (рис. 2, г).

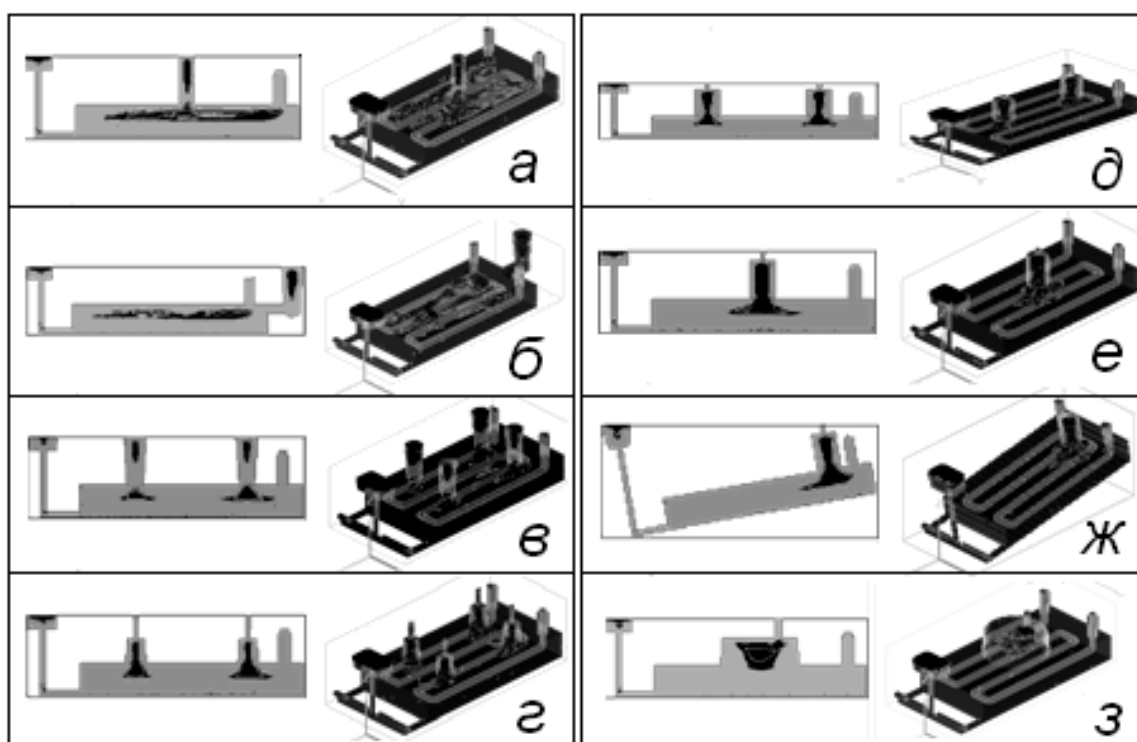


Рис. 2 – Последовательные этапы моделирования технологии литья (а – з)

Уменьшение количества прибылей и использование экзотермических втулок также оказалось нецелесообразным (рис. 2, д). Изменение состава формовочной смеси также не дало положительного эффекта. Это дает основания предполагать, что выявляемые в процессе моделирования дефекты в отливке являются преимущественно дефектами газового происхождения (рис. 2, е). Подъем части формы со стороны литниковой системы на 10° пре-

дотвращает образование ужимин в верхней части формы и способствует выводу дефектов из основной части отливки (рис. 2, ж) и обеспечивает хороший результат (рис. 2, з). Использование массивных прибылей также дает положительный эффект. Однако такой вариант технологии совершенно неприемлем, т.к. массивная прибыль трудно отделима от отливки без ее повреждения в зоне расположения змеевика.

В результате компьютерного моделирования различных вариантов технологического процесса литья холодильных плит найдено наиболее приемлемое решение для последующего более детального исследования.

Соценко О.В., Князев Р.А.
(НМетАУ, г, Днепрпетровск)

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ТЮБИНГОВ ДЛЯ МЕТРОСТРОЯ

В данной работе рассмотрены этапы трехмерного моделирования отливки тюбинга в программе SolidWorks с последующим исследованием процессов заливки и затвердевания ее в программе LVMFlow.

В работе было проведено четыре модельных эксперимента для выявления наиболее эффективного варианта технологии с позиций минимизации газоусадочных дефектов в теле отливки. Моделирование действующей технологии показало наличие усадки в узлах отливки, что значительно снижает ее прочность (рис. 1, а).

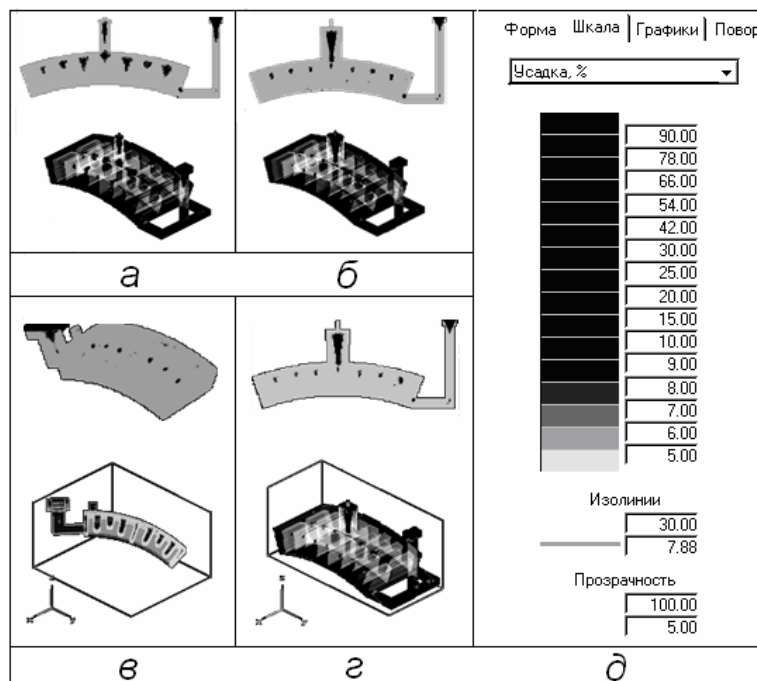


Рис. 1 – Основные этапы моделирования: а – результаты первого этапа; б – дефекты в отливке с большой прибылью; в – дефекты в тюбинге, отлитом в форме с наклоном; з – дефекты в тюбинге, отлитом с водоохлаждаемой плитой; д – цветовая (тоновая) палитра идентификации величины усадочных дефектов

Модельний експеримент с использованием большой прибыли показал значительно лучший результат, но существенно не минимизирующий количество дефектов в отливке (рис. 1, б).

Способ заливки формы под наклоном значительно улучшает ее качество (рис. 1, в). Так как тьюбинг имеет криволинейную стенку, центральная часть формы хуже заливается, так как форма заполняется равномерно (горизонтально), и в центральную часть металл поступает в последнюю очередь, когда края уже начали затвердевать. Это приводит к возникновению различного рода дефектов. При расположении формы под наклоном в отливке обеспечивается устранение таких дефектов как ужимины. Кроме того, в отливке обеспечивается направленное затвердевание со стороны, противоположной литниковой системе.

Метод заливки тьюбинга с использованием водоохлаждаемой плиты (рис. 2, г) позволяет охлаждать расплав во время заливки в верхней части тьюбинга. Это дает возможность отливке затвердевать более равномерно, что значительно снижает количество дефектов и делает отливку более прочной. Использование охлаждающей плиты с масляным охлаждающим реагентом не показало существенных различий в сравнении с применением водоохлаждаемой плиты.

Из приведенных экспериментов определено, что вариант заливки тьюбинга с использованием водоохлаждаемой плиты обеспечивает минимальное количество усадочных раковин. Но так как использование такой плиты существенно усложняет технологический процесс, то более приемлемой является заливка тьюбинга в форму с наклоном. Этот вариант незначительно уступает предыдущему, но существенно экономичнее и менее трудоемко, что отражается на себестоимости конечного продукта.

Соценко О.В., Черданцев Д.С.
(*НМетАУ, г. Днепрпетровск*)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ В ПРОГРАММЕ SKETCHUP 8

Современное программное обеспечение и компьютерная техника позволяют решать задачи эффективности разработки технологических процессов, режимов заливки, затвердевания металла в форме и в целом обеспечить работу инженера технолога литейного цеха. Для 3D модельной оснастки и отливок разного уровня сложности наибольшее применение получили пакеты программ AutoCAD, КОМПАС, SolidWorks и др. Эти программы относятся к категории коммерческих – весьма дорогостоящих, что в значительной мере ограничивает к ним доступ студентов и рядовых технологов. Эффективное освоение этих программ требует значительных затрат времени.

В работе выполнено компьютерное 3D-моделирование литейной оснастки и отливки с использованием программы SketchUp 8. Трехмерное компьютерное моделирование элементов технологического процесса литья с использованием САПР SketchUp 8 позволяет создать различные модели элемен-

тов литейной технологии с минимальной затратой времени. SketchUp 8 совершенно «молодая» программа. Она бесплатна (Freeware), доступна в сети Internet, привлекательна удобным интерфейсом, позволяет создавать сборки разных деталей в один рабочий узел и может быть освоена для практического использования в течение нескольких часов, что является важным преимуществом по сравнению с другими САПР.

Сравнение САПР AutoCAD и САПР SketchUp 8 показало, что они являются абсолютно разными программами для достижения одной и той же цели. Они решают одинаковые задачи, но по совершенно разной технике. Программное обеспечение AutoCAD давно существует на мировом рынке и, благодаря этому, значительно усовершенствовалось и расширило свои возможности. Этот фактор несет как плюсы возможностей, так и минусы громоздкости и неудобности программы.

В качестве реального объекта для оценки возможностей программы SketchUp 8 выполнили моделирование оснастки для литья колеса червячной передачи из чугуна СЧ20. Основные характеристики детали: габариты – $\phi 504 \times 75$ мм, средняя толщина стенки – 30 мм, масса 112,5 кг. Величину усадки приняли 1,2%.

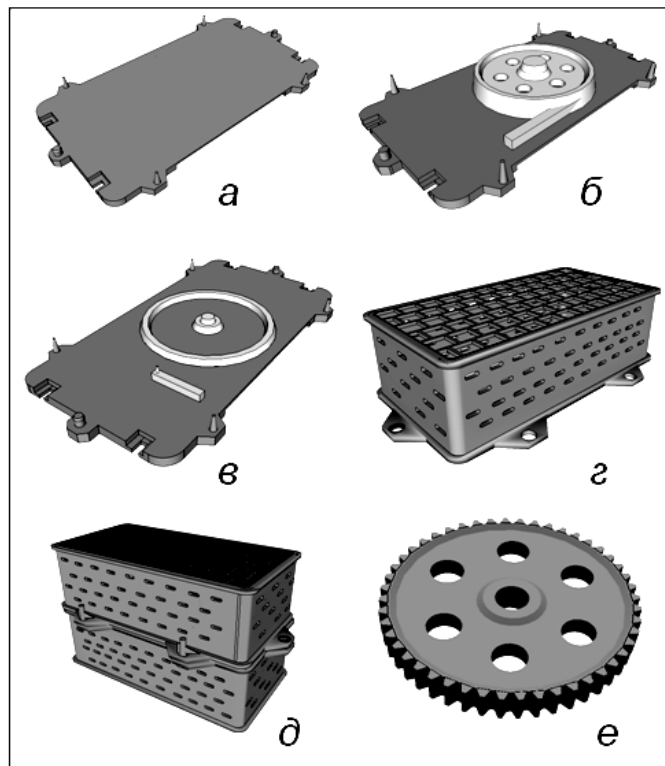


Рис. 1 – Модельная оснастка и элементы литниковой системы: модельная плита (а) с моделью низа и питателем (б); модельная плита с моделью верха и шлакоуловителем (в); нижняя (верхняя) опока (г); готовая литейная форма (д); готовая деталь (е)

Стандартная надпись точности модельного комплекта – Точность МК6-металл ГОСТ 3212-92. Материал модельной плиты для формовки верхней и нижней полуформ (рис. 1, а) – сталь марки 25Л. Модель разъемная из алюминиевого сплава марки АК7 ДСТУ 2839-94 (рис. 1, б, в). Опоки – кра-

новые литые из стали 25Л с внутренними размерами 1270 x 670 x 380 мм (рис. 1, г). Литейная форма в сборе показана на рис. 1, д, а модель готовой детали – на рис. 1, е.

Экспертное сравнение результатов 3D-моделирования оснастки для литья этой же детали в программах КОМПАС и SketchUp 8 показало высокий уровень их идентичности. Программа SketchUp 8 может успешно использоваться при подготовке магистров-литейщиков для ознакомления с основами 3D-моделирования модельной оснастки и отливок.

Хмельковская И.В., Дёмин Д.А.
(НТУ «ХПИ», г. Харьков)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ

Главный рычаг в эффективности производства – ускорение научно-технического прогресса. Первостепенное значение имеет быстрое обновление производственного аппарата путем широкого внедрения передовой техники. В связи с этим необходимо сделать большой шаг в автоматизации производства с переходом цехов и предприятий к автоматам, системам автоматического управления и проектированию.

В настоящее время интенсивно разрабатываются высоконадежные устройства и узлы автоматических систем, базирующихся на полупроводниках, магнитных, пневматических и других бесконтактных элементах. Первостепенная задача сегодня – ускорение ввода автоматизации в производство с целью улучшения условий труда рабочих. Особенно это касается производств с вредными условиями труда – повышенной запыленностью и загазованностью, что очень свойственно литейным цехам.

Целью этого проекта является практическая разработка системы автоматического управления стержневым автоматом.

Стержневая двухпозиционная карусельная машина модели 4705 работает в пооперационном режиме. Поэтому человек постоянно находится в зоне повышенных температур и запыленности.

Чтобы улучшить условия рабочего труда, в работе были использованы теоретические навыки по основам автоматизации литейных процессов, разработана система автоматического управления стержневой двухпозиционной машиной модели 4705. Разработать систему автоматического управления машиной – это значит провести синтез схемы управления многотактной машиной, разработать релейно-контактную схему, а также схему автоматического управления, созданную на бесконтактных логических элементах.

Разработанный двухпозиционный автомат позволит улучшить условия труда. Созданная система автоматического управления стержневым двухпозиционным автоматом повысит производительность труда, так как практически не будет потерь времени для переключения машины с одной операции на другую, что наблюдается в пооперационном режиме труда.

Ямшинський М.М., Грядовський І.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ШИХТИ ДЛЯ СТАЛЕЙ

Xakeros_08@mail.ru

На даний момент є багато програм для розрахунків шихти, але комплексної програми для розрахунку при будь-яких параметрах немає. Тому в системі програмування VisualStudio було розроблено програму, яка дозволяє розраховувати шихту для будь-якої марки сталі при заданих параметрах плавки. Спочатку в програмі обирається параметр плавки та тип печі (рис. 1).

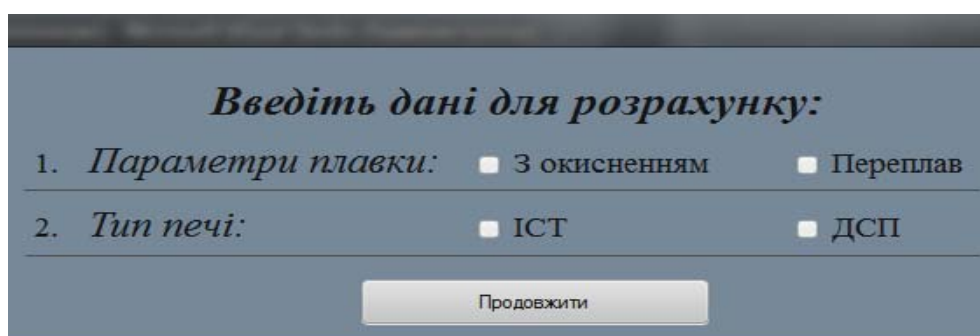


Рис. 1 – Вибір параметру плавки та типу печі

Після натиснення кнопки «Продовжити» відкривається вікно для введення кількості елементів у сталі, яка розраховується, тоннажності печі, та кількості звороту власного виробництва (рис. 2).

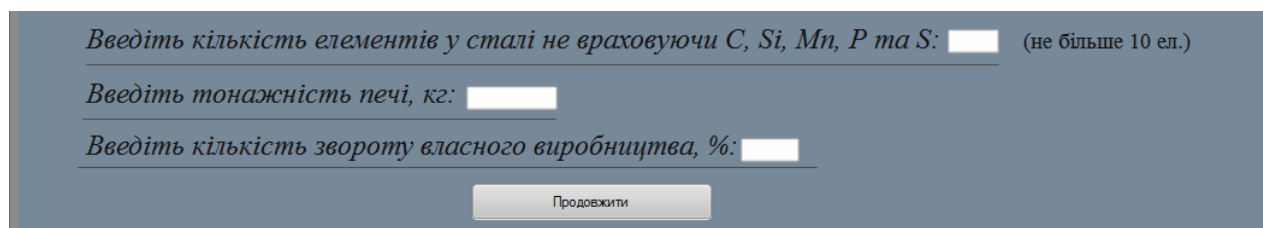


Рис. 2 – Введення кількості елементів, тоннажності печі та кількості звороту власного виробництва

Далі ми переходимо до введення кількості кожного елемента. Спочатку вводиться кількість основних елементів, тобто С, Si, Mn, P та S. Далі в залежності від введеної кількості елементів відкривається потрібна кількість вікон для вибору інших елементів, які є в сталі, та введення їх кількості. Також на даному вікні є база даних по сталям з їх хімічним складом для довідкової інформації.

Після введення всіх даних відкриваються вікна для розрахунку феросплаву для кожного елемента (рис. 3). Для довідкової інформації створена база даних по угарам для елементів та феросплавів в залежності від методу плавки.

Під час розрахунку вибирається необхідний феросплав та його марка.

Розрахунок для першого елемента

Почати розрахунок для першого елемента: Таблиця угарів

1. Кількість елемента яка вноситься в ріжку сталь зі звороту не враховуючи угар, %:
$$C_r = (21 * 48) / 100 \% = 10,08$$

2. Угар елемента внесеного зі зворотом, %:
$$Угар = (10,08 * 80) / 100 \% = 8,064$$

3. Кількість елемента яка вноситься в ріжку сталь зі звороту враховуючи угар, %:
$$C_r = 10,08 - 8,064 = 2,016$$

4. Кількість елемента які не вистачає для прийнятого хімічного складу, %:
$$C_r = 21 - 2,016 = 18,984$$

5. Кількість феросплаву без урахування угару для прийнятої кількості елемента, %:
$$Кіл. фероспл = (18,984 / 68) * 100 \% = 27,918$$

6. Розрахунок кількості угару феросплаву, %:
$$Угар = (27,918 * 40) / 100 \% = 11,167$$

7. Кількість феросплаву яку потрібно ввести, %:
$$Кіл. фероспл = 27,918 + 11,167 = 39,085$$

Рис. 3 – Приклад розрахунку необхідної кількості феросплаву для одного елемента

Після закінчення розрахунку по всім елементам вибирається марка сталевого брухту та чавуну переробного, і результати розрахунку виводяться на екран у вигляді таблиці. В цьому вікні виконується перевірка по вуглецю та при його недостатчі додається кількість чавунного брухту.

Після закінчення коригування кількості сталевого брухту та чавунного брухту проводиться перевірка кількості по всім іншим елементам. При незбіжності потрібної кількості та розрахованої дозволяється коригувати марку феросплаву та угари для даного елемента, для доведення кількості до потрібного значення.

3. РОЗДІЛ. РОБОТИ СЛУХАЧІВ МАН

Подольанко О.Я.

(гімназія №153, м. Київ)

ХУДОЖНЄ ЛИТВО БУЛО, Є І БУДЕ

podolyanko@i.ua

Мистецтво художнього литва є однією з найважливіших сфер творчої діяльності людини. Художнє литво тісно взаємопов'язане з архітектурою, скульптурою та декоративно-прикладним мистецтвом.

Зародження литва взагалі та художнього литва, зокрема, нерозривно пов'язане з початком епохи металургії, коли людина навчилася здобувати та обробляти руду. Спочатку вироби з самородних металів: золота, срібла, міді, метеоритного заліза – виготовляли куванням завдяки їх високим пластичним якостям. Вилити такі вироби навчилися значно пізніше, приблизно за 5000 р. до н.е. (такі висновки зробив американський вчений Г.Форбес, спираючись на результати власних досліджень), хоча найперші вироби з металу з'явилися вже в 7...6 тис. до н. е. Поширенню області застосування ливарних виробів сприяла поява сплавів.

Метою роботи є ознайомлення та детальне вивчення історії виникнення художнього литва та литва взагалі на територіях країн Древнього світу: Древнього Єгипту, Древньої Індії, Древнього Китаю, Кавказу, Древньої Греції, Древньої Італії, Древнього Риму, Античних країн Північного Причорномор'я. Також був розглянутий розвиток литва на території України, описані Трипільська, Скіфська культури та культура Київської Русі.

Окрім історичного огляду розвитку художнього Литва, у роботі подаються технологічні особливості литва металів, способи реалізації ливарної технології, визначення, основні поняття, які стосуються литва металів: литво, опока, литникова система, вилівок, ливарний стрижень.

У третій частині роботи подається опис практичної роботи з виготовлення художніх виливків-літер, вказується алгоритм процесу литва :

- 1) у сумішоприготувальній ливарній машині змішують необхідні формувальні матеріали: пісок, глину та воду;
- 2) ливарну модель викладають у нижню опоку, яка не має дна, тому має стояти на підпоковій плиті;
- 3) модель посипають сріблястим графітом, який виконує роль розподільвача, покривають першим шаром суміші, просіваючи її, щоб суміш була однорідною та рівномірно все покрила;
- 4) суміш додається у такій кількості, щоб після утрамбування вона повністю заповнювала опоку;
- 5) суміш розрівнюється, зайве прибирається, робляться отвори, щоб небезпечні для виливка газу виходили назовні;
- 6) нижня напівформа перевертається, на неї встановлюється верхня опока;
- 7) встановлюються напрямівні штирі;

- 8) повторюються усі ті самі дії, але вже з верхньою опокою;
- 9) після посипання розподільвачем обов'язково встановлюється модель ливникової системи;
- 10) опоки послідовно розбираються, виймається ливарна модель і ливникова система;
- 11) будується конструкція заново, й у неї заливається рідкий метал (сплав);
- 12) впродовж 10 хв. метал застигає;
- 13) виріб можна виймати, охолоджувати, обрубувати й зачищати.

Внаслідок точного виконання необхідних операцій, було виготовлено виливки літер «А» і «Е».

Після детального вивчення історії розвитку художнього литва у світі та на території України, можна стверджувати, що кожна розглянута країна пройшла однакові епохи, під час яких переважав той чи інший вид художнього литва. Розподіл на епохи переважно залежав від матеріалу, з якого виготовляли виливки. Відмінності полягають у тому, що країни проходили ці етапи не водночас, технічний рівень виробів був неоднаковим, деякі вироби виготовлялися лише на певній території через релігію, звичаї або історичні обставини.

Виконана робота слугуватиме початковим етапом ознайомлення з художнім литвом та допоміжним матеріалом для науково-дослідницької роботи по створенню нових формувальних сумішей з природними біополімерами для відповідального та художнього литва.

Федоров Г.Є., Бубіс А.О.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ЖАРОСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

Екстремальними умовами експлуатації металевих виробів вважають високі (до 1350°C і вищі) або низькі (до -190°C) температури, агресивні середовища, інтенсивний абразивний знос, тощо.

До матеріалів, які працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ, відносять жаростійкі сплави на основі заліза – хромисті, хромонікелеві та хромоалюмінієві сталі. Їх використовують для виготовлення литих деталей паливоспалювальних пристроїв котлоагрегатів теплових електростанцій, устаткування металургійних, хімічних і машинобудівних підприємств.

Сплави повинні мати високі температури плавлення і жаростійкість, задовільні ливарні властивості, мають бути недорогими і недефіцитними.

Аналізом експлуатації жаростійких деталей у названих галузях установлено, що робоча температура їх зазвичай не перевищує 1250°C. Основною вимогою, яку пред'являють до жаростійких сплавів, є здатність металу чинити опір газовій корозії при високих температурах, тобто метал повинен мати високу окислостійкість, на яку впливають багато факторів: середовище, те-

температура, періодичність її зміни, швидкість газового потоку, тривалість експлуатації виробу, хімічний склад металу, з якого виготовлена лита деталь.

Як матеріали для роботи в умовах високих температур на увагу заслуговують сталі з вмістом понад 20% хрому. Додавання в такі сплави до 5% алюмінію суттєво підвищує їх окалинотійкість внаслідок утворення на поверхні виробу стійкіших, у порівнянні з оксидами хрому, оксидів алюмінію з температурою плавлення 2050°C. Отже головним завданням під час вибору жаростійкого матеріалу має бути визначення оптимального співвідношення хрому і алюмінію залежно від умов експлуатації литих деталей. Очевидно, що вміст алюмінію в хромистих сталях має визначатися тим мінімумом, при якому зберігаються високі експлуатаційні характеристики сплаву і тим максимумом, після якого різко знижуються пластичні властивості металу і температура його плавлення.

Крім хрому і алюмінію окалинотійкість сталей підвищують кремній, титан тощо. Надмірний вміст вуглецю суттєво знижує цю характеристику.

Відомо, що технологічні властивості матеріалу визначають його поведінку в умовах виготовлення виробу. У комплексі технологічних характеристик дуже важливе місце посідають ливарні властивості сплавів: рідкотекучість, лінійна та об'ємна усадки, тріщиностійкість, плівкоутворення тощо.

Виплавляння сталей здійснювали в індукційній печі ІСТ 0,06 з основною футеровкою методом переплавлення з використанням недефіцитних шихтових матеріалів і феросплавів. Для визначення ливарних властивостей використовували сучасні методики з високими відтворюваністю і достовірністю одержуваних результатів. Металографічні дослідження сплавів виконували на мікроскопі МІМ – 8 з персональним комп'ютером.

Досліджено вплив вуглецю і титану на ливарні властивості та структуру жаростійких сталей з різним вмістом хрому і алюмінію. Вміст вуглецю змінювали в діапазоні концентрацій від 0,10 до 0,79%, а титану – до 1,4%.

Установлено, що найвищу практичну рідкотекучість досліджені сталі мають при вмісті вуглецю біля 0,4% внаслідок зниження температури плавлення та теплопровідності розплаву, при цьому зменшується лінійна усадка сталей і підвищується їх тріщиностійкість через подрібнення первинного зерна від 180 мкм при вмісті 0,10% вуглецю до 40...45 мкм – при 0,79%.

Додавання титану до 0,35% підвищує практичну рідкотекучість сталей внаслідок його високої розкиснювальної здатності та зниження температури початку кристалізації сталей, дещо підвищує лінійну усадку, але зменшує схильність сталей до утворення гарячих тріщин внаслідок утворення додаткових центрів кристалізації і подрібнення первинного зерна від 82 до 48 мкм.

Таким чином, з урахуванням усього комплексу властивостей рекомендовано покращений варіант дешевого жаростійкого матеріалу з оптимальним вмістом вуглецю 0,30...0,40%, і 0,20...0,35% титану.

Федоров Г.Є., Тульчинська М.В.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ЗНОСОСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

Інтенсивний абразивний, ударно-абразивний або гідроабразивний знос, високі та низькі (до -190°C) температури, агресивні середовища, радіаційне випромінювання тощо відносять до екстремальних умов експлуатації металевих виробів. До зносостійких сплавів, які використовують для роботи в наведених умовах зносу, відносять високомарганцеві сталі та складнолеговані зносостійкі чавуни.

Аналізом експлуатації зносостійких деталей установлено, що опір їх поверхонь абразивному зношуванню значною мірою визначається твердістю останніх. Чим вища твердість металу, тим менша глибина вторгнення абразивної часточки в поверхню, тим менший локальний об'єм матеріалу, який піддається пластичній деформації.

Зносостійкість сплавів у гідроабразивному середовищі є складною функцією взаємодії металу з абразивними часточками і середовищем, в якому вони працюють. Утрата маси матеріалу, що піддається гідроабразивній дії, прямо пропорційна тривалості цієї дії. Суттєвий вплив на знос справляє твердість абразиву, особливо коли вона суттєво перевищує твердість матеріалу робочих деталей.

Зносостійкі високолеговані чавуни – це група хромистих, хромомарганцевих, хромонікелевих чавунів, основною відмінністю яких є наявність у мікроструктурі великої кількості карбідів заліза і легувальних елементів, що забезпечують високу зносостійкість металу в умовах будь-якого зносу.

Керувати процесами формування структури і властивостей виливків з високолегованих сплавів можна їх додатковим легуванням або мікролегуванням. Серед основних легувальних елементів для таких сплавів є хром і марганець. Для мікролегування використовують титан, ванадій, сурму тощо.

Виплавляння експериментальних сплавів здійснювали в індукційній печі місткістю тигля 60 кг. Спочатку виплавляли хромистий чавун, потім до нього додавали марганець у вигляді феромарганцю марки ФМн 78. Присадку феротитану у вигляді феротитану марки ФТи30 здійснювали в тигель після досягнення металом температури $1400\dots 1450^{\circ}\text{C}$. Для зменшення угару легувальних елементів під час плавлення дзеркало розплаву покривали плавиковим шпатом. Ливарні властивості визначали вибірково для кожного сплаву з використанням сучасних методик. Дослідження зносостійкості сплавів в абразивному середовищі здійснювали на установці роторного типу, для умов ударно-абразивного зносу використовували струменеударну установку, яка дає можливість за короткий час отримати значний абсолютний знос зразка, а для випробувань зразків у гідроабразивному середовищі в роботі вибрано метод обертання зразків у пульпі, який забезпечується відповідною установкою. Як абразивний матеріал під час випробувань використовували кар'єрний пісок, що має вищу, у порівнянні з річковим, абразивну дію через

кутасту його форму. Як еталон для порівняння зносостійкості сплавів використовували зразки, виготовлені із відомого хромонікелевого сплаву 280X28H2.

Визначено оптимальні режими випробовування зразків із високолегованих чавунів: тривалість – 4 год, кількість обертів вала – 1875 хв^{-1} , середній розмір абразиву – 0,2 мм, концентрація абразиву в пульпі – 30% за об'ємом.

Попередніми дослідженнями встановлено, що найкращий комплекс технологічних і спеціальних властивостей має зносостійкий хромомарганцевий чавун із вмістом 18...20% хрому й 3,8...4,5% марганцю.

Для забезпечення більш високої його зносостійкості та підвищення тривалості експлуатації виробів в умовах гідроабразивного зносу цей чавун додатково легували титаном в діапазоні його концентрацій до 2%.

Установлено, що найвищі твердість і зносостійкість хромомарганцевий чавун набуває після додавання 0,35...0,45% титану. Твердість такого чавуну підвищується на 10..12%, а зносостійкість – на 15...20%. Це пояснюється подрібненням структури металу та кращим утримуванням карбідів у матриці.

Найкращий комплекс властивостей має чавун із вмістом 2,5...2,9% вуглецю, 18...20% хрому, 3,8...4,5% марганцю та легований 0,35...0,45% Ті.

Целуйко Є.О., Федоров Г.Є.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

СПЕЦІАЛЬНІ СТАЛІ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

До матеріалів, які працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ, відносять жаростійкі сплави на основі заліза – хромисті та хромоалюмінієві сталі і чавуни. Аналізом експлуатації високотемпературних деталей в різних галузях встановлено, що робоча температура їх досягає 1200...1250°C. Зовнішніх навантажень такі деталі не несуть, окрім власної маси, тому для їх виготовлення доцільно використовувати хромоалюмінієві сталі з оптимальним співвідношенням хрому і алюмінію. Оскільки переважна більшість таких деталей піддаються інтенсивній абразивній дії і швидко зношуються в результаті ерозійних процесів, то і в цьому випадку доцільно використовувати такі сталі з підвищеним вмістом вуглецю і хрому.

Проте головною експлуатаційною характеристикою жаростійких сплавів є їх опір високотемпературній газовій корозії, тобто жаростійкість, яка складається із окалиностійкості, термостійкості і ростостійкості. Вибір сплаву з високою окалиностійкістю є необхідним, але недостатнім критерієм для забезпечення надійності і довговічності експлуатації литих виробів. При цьому слід враховувати здатність металу протистояти руйнуванню під дією змін температури протягом всього часу експлуатації, тобто його термостійкість.

На стійкість металу проти газової корозії впливає багато факторів, серед яких провідну роль посідає співвідношення основних хімічних елементів – хрому та алюмінію. За їх наявності в складі металу на поверхні виробу утворюється окалина із оксидів хрому та алюмінію, співвідношення яких ви-

значається концентраціями в сталі цих елементів і температурою експлуатації литої деталі. Визначення цих концентрацій – головне завдання.

Виплавляння досліджуваних сталей здійснювали в індукційній печі методом переплавлення з використанням недефіцитних шихтових матеріалів. Окалиностійкість сталей визначали на спеціальній установці ваговим методом за збільшенням маси зразків протягом 100 год випробовувань. Зміну маси циліндричних зразків діаметром 10 мм і висотою 20 мм під час витримання в газовому середовищі при високих температурах фіксували методом безперервного зважування. Після відповідної підготовки зразки розміщували в спеціальних алунових човниках, випалених в силітовій печі до сталої маси за температур на 100...150°C вищих температур випробовувань.

Для визначення оптимальних концентрацій хрому й алюмінію вивчена окалиностійкість сталей із вмістом хрому в діапазоні концентрацій від 17 до 37% й алюмінію – до 7% при середньому вмісті вуглецю 0,30...0,35%.

Аналізом результатів досліджень установлено, що із збільшенням вмісту алюмінію в хромистій сталі з будь-яким вмістом хрому різко підвищується її окалиностійкість не тільки в атмосфері перегрітого повітря, але і в інших середовищах (вуглекислий газ, сірчистий газ і водяні пари), особливо після підвищення концентрації алюмінію до 2,0...3,0%. Найагресивнішим середовищем є водяні пари.

Отже, для забезпечення високої окалиностійкості, сталь має вмістити 25...30% хрому й 2...3% алюмінію. Вироби, виготовлені із цієї сталі, можуть працювати в таких умовах при температурах до 1200...1250°C.

Дослідженнями кінетики окиснення хромистої сталі 35X30Л в атмосфері перегрітого повітря установлено, що підвищення до 3% алюмінію суттєво знижує швидкість її окиснювання в перші 10...15 хв внаслідок того, що на поверхні виробу інтенсивно утворюється шар оксидів алюмінію, оскільки він має вищу дифузійну здатність і термодинамічну активність у порівнянні з хромом. Відносна кількість фаз, що утворилася на початку окиснювання, з часом зсувається в бік збільшення оксидів хрому. Підтверджено літературні дані, що співвідношення оксидів хрому і алюмінію в окалині після завершення «інкубаційного» періоду залежить від вмісту хрому й алюмінію в сталі й температури окиснювання, тобто від температури експлуатації виробів.

Отже, аналізом результатів досліджень установлено, що найвищу окалиностійкість в усіх середовищах має сталь такого хімічного складу, %: 0,25...0,35 C; 28...32 Cr; 1,5...3,0 Al; 0,8...1,0 Si та 0,6...0,8 Mn.