

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”**  
**ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**



**НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ**  
**В МАШИНОБУДУВАННІ**

**МАТЕРІАЛИ**

III Міжнародної науково-технічної конференції

Україна, Київ

2011



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ



**НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ  
В МАШИНОБУДУВАННІ**

**МАТЕРІАЛИ**

III Міжнародної науково-технічної конференції

конференція присвячена ювілейним датам  
завідувачів кафедри  
ливарного виробництва чорних і кольорових металів  
інженерно-фізичного факультету:

*110 років від дня народження проф. Ващенко К.І.  
80 років від дня народження проф. Дорошенка С.П.  
70 років від дня народження проф. Сьомика А.П.*

Україна, Київ

2011

УДК 621.

Рекомендовано до друку вченою радою ІФФ НТУУ „КПІ”

Протокол № 4/11 від 12.05.2011 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, 26...27 травня 2011, м. Київ / загальна редакція В.Г. Могилатенко, Р.В. Лютий. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2011. – 141 с.

Відповідальність за інформацію у наданих матеріалах несуть автори.

УДК 621.

© НТУУ „КПІ”, ІФФ, 2011

## **Науково-програмний комітет**

**Голова** – Могилатенко В.Г., д.т.н., проф.

### **Заступники голови:**

Шинський О.Й. д.т.н., проф., президент АЛУ

Гаврилюк В.П. д.т.н., проф., заст. директора ФТІМС НАН України

Пономаренко О.І. д.т.н., проф., віце-президент АЛУ

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

Ямшинський М.М., к.т.н., доц. – учений секретар

### **Члени програмного комітету:**

Федоров Г.Є., к.т.н., доцент

Сиропоршнев Л.М., к.т.н., доцент

Гурія І.М., к.т.н., доцент

Кочешков А.С., к.т.н., доцент

Шейко О.І., к.т.н., доцент

Косячков В.О., к.т.н., доцент

Чайковський О.А., к.т.н., доцент

Дробязко В.М., к.т.н., доцент

Лютий Р.В., к.т.н., доцент

Платонов Е.О., с.н.с.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

Артем'єв В.В.

Лютий Р.В.

Радченко К.С.

Литвинець Є.А.

## **СЕКРЕТАРІАТ**

Хасан О.С.

Верес І.А.

Власюк І.А.

## ЗМІСТ

<b>Становський А.Л.</b> К.И. Ващенко посвящаю.....	15
<b>Кошовник Г.І.</b> Вчений, людина, друг.....	17
<b>Лютий Р.В.</b> 80 років від дня народження завідувача кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів професора Дорошенка С.П.....	19
<b>Кочешков А.С.</b> Вчений-ливарник, декан ІФФ, завідувач кафедри: Аркадій Павлович Сьомик.....	24

### **1 РОЗДІЛ. ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....**

26

<b>Адаменко Л.А., Иванова Л.Х., Осипенко И.А.</b> ( <i>НметАУ, м. Дніпропетровськ</i> ) ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ.....	26
<b>Василенко М.О., Ткаченко І.Ф.</b> ( <i>ПДТУ, м. Маріуполь</i> ) БАГАТОЦІЛЬОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛЕЙ ДЛЯ ГЛИБОКОГО ВИТЯГНЕННЯ.....	27
<b>Могилатенко В.Г., Ямшинський М.М., Власюк І.А., Бурлака Т.В.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ.....	27
<b>Вопнерук А.А., Валиев Р.М., Ведищев Ю.Г.</b> ( <i>УрФУ, м. Єкатеринбург</i> ) ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРИНЦИПУ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА.....	29
<b>Гавалешко Н.С., Кочешков А.С.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИФУЗІЙНОЇ ЗОНИ БІМЕТАЛЕВОГО ВИЛИВКА.....	30
<b>Діренко А.Ю., Кіщенко О.М.</b> ( <i>КТУ, м. Кривий Ріг</i> ) АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КУЛЬ, ЩО МЕЛЮТЬ.....	31
<b>Доценко Ю.В., Селиверстов В.Ю., Перепечаева Е.А.</b> ( <i>НМетАУ, м. Дніпропетровськ</i> ) ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА А356 ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ РАСПЛАВ.....	32
<b>Зарицький В.В., Кіщенко О.М.</b> ( <i>КТУ, м. Кривий Ріг</i> ) ОБРОБКА РІДКОЇ СТАЛІ 110Г13Л ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ.....	34
<b>Ю.О. Зеленюк*, В.М. Чорний**, В.А. Шаломеев*, Е.І. Цивірко*</b> ( <i>*ЗНТУ, м. Запоріжжя, **ЗДМУ, м. Запоріжжя</i> ) КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ5 ЗІ СКАНДІЄМ ТА СРІБЛОМ.....	35
<b>Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Калашнікова А.Ю., Беліч О.В., Білий О.П.</b> ( <i>НМетАУ, м. Дніпропетровськ</i> ) ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЛІГАТУРИ ДЛЯ ВИЛИВКІВ.....	36
<b>Слепцова А.Б., Лукьяненко И.В., Косячков В.А., Платонов Е.А.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) ХРУПКІСТЬ ВИСОКОКРЕМНИСТОГО ФЕРРИТНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНИМ ГРАФИТОМ.....	38

<b>Кужель Д.Г, Ямшинський М.М., Завертайло М.В. (НТУУ «КПІ»)</b> ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ.....	40
<b>Шаломеев В.А., Цивирко Э.И., Зеленюк Ю.А.* Лукинов В.В.**</b> (*ЗНТУ, м. Запоріжжя, **ВАТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя) ГАЗОИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ ЛИТЬЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....	41
<b>Лысенко Т.В., Становский А.Л, Желдубовский Д.А. (ОНПУ, м. Одеса)</b> ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ СИСТЕМЫ «ОТЛИВКА – ФОРМА».....	42
<b>Малинов В.Л. (ГВУЗ «ПГТУ», м. Мариуполь) СТРУКТУРА И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО НОВЫМИ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМИ МАРГАНЦЕВЫМИ И ХРОМОМАРГАНЦЕВЫМИ ПОРОШКОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ .....</b>	44
<b>Малинов Л.С., Малинова Д.В. (ГВУЗ, «ПГТУ», м. Мариуполь)</b> ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПОЛУЧЕНИЕМ В НИХ БЕЙНИТНО- АУСТЕНИТНОЙ СТРУКТУРЫ.....	45
<b>Малинов Л.С. (ГВУЗ, «ПГТУ», м. Мариуполь) ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ОБРАБОТОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ МАКРОНЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ В СПЛАВАХ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОВЫШЕНИИ ИХ СВОЙСТВ .....</b>	47
<b>Савельев В.С.<sup>1</sup>, Цоновский С.И.<sup>1</sup>, Бобровский В.К.<sup>1</sup>, Палкин В.Б.<sup>1</sup>, Федоров Г.Е.<sup>2</sup>, Платонов Е.А.<sup>2</sup> <sup>1</sup>(СЕ ПАО «Донбассэнерго» «Электроремонт»), <sup>2</sup> (НТУУ «КПІ»)</b> ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ НОВЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СЕ «ЭЛЕКТРОРЕМОНТ» .....	48
<b>Малинов Л.С. (ГВУЗ «ПГТУ», м. Мариуполь) РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОЗДАННЫЕ НА ОСНОВЕ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ СТРУКТУР С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ.....</b>	49
<b>Малинов Л.С., Харлашкин В.А. (ГВУЗ «ПГТУ», м. Мариуполь)</b> ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ ЦЕМЕНТУЕМОЙ СТАЛИ 10Г12 ЗА СЧЕТ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТОК, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА В СТРУКТУРЕ.....	51
<b>Бойко В.В.**, Томас Линк*, Михаленков К.В.** (*ТУ Берлін, Німеччина, **НТУУ «КПІ», Україна)</b> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Mg-Si.....	52
<b>Федоров Г.Є., Мошковський Д.В. (НТУУ «КПІ»)</b> МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗНОСОСТІЙКИХ БЛИХ ЧАВУНІВ ДЛЯ РОБОТИ В ГІДРОАБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....	53
<b>Федоров Г.Є., Ямшинський М.М., Назаренко В.С., Платонов Є.О.</b> (НТУУ «КПІ») ПІДВИЩЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ МІКРОЛЕГУВАННЯМ ТА МОДИФІКУВАННЯМ....	55

<b>Парфентьев О.В., Федоров Г.С., Радченко К.С. (НТУУ «КПІ»)</b> ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ХРОМОМАРГАНЦЕВИХ ЧАВУНІВ, МІКРОЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ І ВАНАДІЄМ .....	56
<b>Пічугін А.Т., Лук'яненко О.Г., Труш В.С. (Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів)</b> ПІДВИЩЕННЯ ОПІРНОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ДО СПОВІЛЬНЕНОГО РУЙНУВАННЯ РЕГЛАМЕНТОВАНИМ ТВЕРДОРОЗЧИННИМ ЗМІЩЕННЯМ .....	57
<b>Радченко К.С., Ямшинський М.М., Левін В.А. (НТУУ «КПІ»)</b> ВПЛИВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ХРОМОМАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ, МІКРОЛЕГОВАНОГО СУРМОЮ .....	59
<b>Сас А.С. (НТУУ «КПІ»)</b> ЛЕГУВАННЯ ЧАВУНУ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ .....	60
<b>Ушакова С.О. (НТУУ «КПІ»)</b> КОНТАКТНА ВЗАЄМОДІЯ У БІМЕТАЛІ (СТАЛЬ – ЛКМ) НА МЕЖІ ОСНОВНОГО ТА ПЛАКУЮЧОГО ШАРУ ПРИ ТВЕРДОРОЗЧИННОМУ СУМІЩЕННІ .....	61
<b>Фесенко А.Н., Фесенко М.А., Дегтярев С.А. (ДДМА, м. Краматорськ)</b> ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ВТУЛОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ .....	63
<b>Чернега Д.Ф., Сороченко В.Ф., Кудь П.Д. (НТУУ «КПІ»)</b> ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СПОСОБУ АЛІТУВАННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ .....	64
<b>Яблонський А.А., Могилатенко В.Г., Гурія І.М. (НТУУ «КПІ»)</b> ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ З ПІНОАЛЮМІНІЮ .....	66
<b>Яровий І.С., Кіщенко О.М. (КТУ, м. Кривий Різ)</b> ПОЛІПШЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИЛИВКІВ ПРИ КОНТРОЛІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ВПЛИВОМ .....	67
<b>Яблонський А.А., Гурія І.М., Козачук Є.В. (НТУУ «КПІ»)</b> ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА ФОРМУВАННЯ ВИЛИВКІВ З ПОРИСТОГО АЛЮМІНІЮ .....	69
<b>Омаровська Ю.І. (НТУУ «КПІ»)</b> ПЕРСПЕКТИВНЕ НАПРАВЛЕННЯ РОЗВИТКУ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ .....	70
<b>Слепцова А.Б. (НТУУ «КПІ»)</b> ПРИЧИНА ЛАМКОСТІ ВИСОКОКРЕМНИСТОГО ФЕРИТНОГО ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ .....	72
<b>Тошева О.Ю., Чайковський О.А. (НТУУ «КПІ»)</b> ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЮВЕЛІРНИХ ВИЛИВКІВ .....	73
<b>Верес І.А., Соболюк О.В., Федоров Г.С., Платонов Є.О., Ямшинський М.М. (НТУУ «КПІ»)</b> ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОСТІЙКИХ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ .....	74
<b>Гарячий М.О., Радченко К.С., Ямшинський М.М. (НТУУ «КПІ»)</b> ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ НІТРИДОМ ТИТАНУ ТА БОРИДОМ ТИТАНУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ХРОМО-МАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ .....	76



<b>Ступаченко М.В.*, Затуловський А.С.**</b> ( <i>*НТУУ «КПІ», **ФТІМС НАН України</i> ) ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ШАРІВ В БІМЕТАЛІ СТАЛЬ–ЛКМ ПРИ ПІЧНІЙ НАПЛАВЦІ .....	76
---	----

## 2 РОЗДІЛ. ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ТА ПРОТИПРИГАРНІ ПОКРИТТЯ ..... 78

<b>Артемьев В.В.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ С ЛСТ .....	78
--	----

<b>Берегова О.С., Постіженко В.К.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ.....	80
---	----

<b>Горносталь Ю.В.*, Шинський О.Й.**</b> ( <i>*НТУУ «КПІ», **ФТІМС НАН України</i> ) РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ АРМОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ АВТОКЛАВНИМ СПОСОБОМ.....	81
---	----

<b>Гудзовська Н.С., Сиропоршнєв Л.М.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) РОЗРОБКА КОМБІНОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ .....	83
--	----

<b>Думчева К.Ю., Лютий Р.В.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) СУМІШІ З ОРТОФОСФОРНОЮ КИСЛОТОЮ І СПОЛУКАМИ АЛЮМІНІЮ, ЯКІ ЗМІЦНЮЮТЬСЯ ПРИ НАГРІВАННІ..	84
---	----

<b>Руденко О.Ю, Заяц А.О.</b> ( <i>КТУ, м. Кривий Ріг</i> ) ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБРОБКИ РІДКОГО СКЛА УЛЬТРАЗВУКОМ.....	86
--	----

<b>Кеуш Д.В., Лютий Р.В.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) СУМІШІ ТЕПЛООВОГО ТВЕРДІННЯ З НЕОРГАНІЧНИМИ ПОЛІМЕРАМИ НА ОСНОВІ КВАРЦОВОГО НАПОВНЮВАЧА .....	87
---	----

<b>Кочешков А.С., Кириленко Г.Ю.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ГІПСОКРЕМНЕЗЕМИСТИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ З КОМБІНОВАНИМ ВОГNETРИВКИМ НАПОВНЮВАЧЕМ .....	89
---	----

<b>Красінський В.В., Шаповал Й.М.</b> ( <i>Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів</i> ) НОВІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ СКЛЕЮВАННЯ МЕТАЛІВ І СКЛА .....	90
--	----

<b>Лысенко Т.В., Худенко Н.П., Степаненко А. В.</b> ( <i>ОНПУ, м. Одеса</i> ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЕСЧАНЫХ СТЕРЖНЕЙ .....	91
---	----

<b>Самарай В. П.*, Мірза О.І., Непомнящий Д. М., Штефан А. В.**</b> ( <i>* Київський міжнародний університет, м. Київ, ** Інститут екології та медицини, м. Київ</i> ) ТРИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРОУЩІЛЬНЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ І ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПРОТЕЗІВ .....	93
--	----

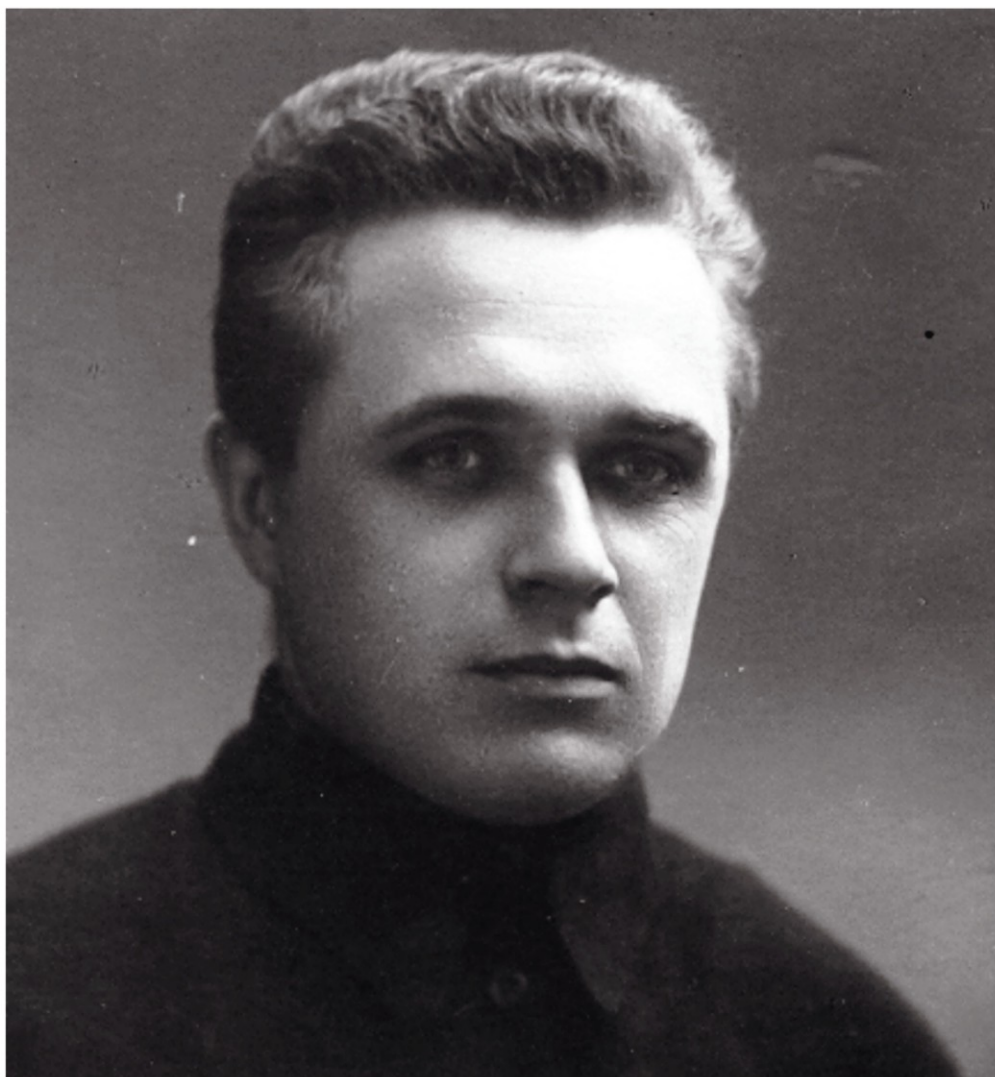
<b>Самарай В.П.*, Карпенко В.М.**, Филипенко Е.В.***</b> ( <i>* Київський міжнародний університет, м. Київ, Україна, **ГГУ ім. Ф. Скорины, м. Гомель, Беларусь, ***ГГТУ ім. П.О.Сухого, м. Гомель, Беларусь</i> ) РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ .....	94
---	----

<b>Дробязко В.М., Сосіхіна О.О.</b> ( <i>НТУУ «КПІ»</i> ) Я ЛИТТЯ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ .....	96
--	----

<b>Суменко В.Ю.</b> (НТУУ «КПІ») ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ З НАПРАВЛЕННОЮ КРИСТАЛІЗАЦІЄЮ В ФОРМИ З МОДИФІКОВАНОЇ КЕРАМІКИ .....	97
<b>Федоров Н.Н., Сотников Д.Ю.</b> (ДДМА, м. Краматорськ) КОМПЛЕКСНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ЛИНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ.....	98
<b>Цибуля О.П.</b> (НТУУ «КПІ») ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ З КЕРОВАНОЮ ТЕПЛОПРОВІДНІСТЮ .....	100
<b>Шаповалова Д.В., Лютий Р.В.</b> (НТУУ «КПІ») ФОРМУВАЛЬНІ ТА СТРИЖНЕВІ СУМІШІ З МІНІМАЛЬНИМ ВМІСТОМ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ .....	101
<b>Сімановський В.М., Нейма О.В.</b> (ФТІМС НАН України, м. Київ) СУЧАСНА ЛИВАРНА КЕРАМІКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ З ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ.....	103
<b>Сиропоршнєв Л.М., Панасюк І.І.</b> (НТУУ «КПІ») РОЗРОБЛЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ .....	104
<b>Дробязко В.М., Савіцька Н.Б.</b> (НТУУ «КПІ») КРИЮЧА ЗДАТНІСТЬ ПРОТИПРИГАРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ.....	105
<b>Ігнат'єва Я.В., Шейко О.І.</b> (НТУУ «КПІ») ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ КВАРЦОВИХ ПІСКІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ.....	105
<b>Шевчук Т.В.</b> (НТУУ «КПІ») ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ .....	106
<b>Леонтьєва К.М.*, Шинский О.И.**</b> (*НТУУ «КПІ», **ФТІМС НАН України) ТЕПЛОМАСООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ФОРМЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАКРОАРМИРОВАННОЙ ФАЗОЙ.....	108
<b>3 РОЗДІЛ. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА .....</b>	<b>110</b>
<b>Богушевський В.С., Жук С.В., Чернушевіч Я.Д.</b> (НТУУ «КПІ») ВИКОРИСТАННЯ СТАВРОЛІТУ В УМОВАХ КОНВЕРТОРНОГО ВИРОБНИЦТВА ....	110
<b>Богушевський В.С., Абрамова О.С., Горбачова М.В., Зайцева Х.І.</b> (НТУУ «КПІ») ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АСКТП МАШИН ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ.....	111
<b>Гресс А.В., Стороженко С.А., Колиброда С.Н.</b> (ДДТУ, м. Дніпродзержинськ) ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ МЕТАЛЛА В ЛИТЕЙНЫХ КОВШАХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЭЛЕКТРОДИФФУЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	113
<b>Грищенко А.В. Кіщенко О.М.</b> (КТУ, м. Кривий Ріг) ЗБІЛЬШЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ПРОДУКЦІЇ ЛИТВА ЗА РАХУНОК ЗМІНИ КОНСТРУКЦІЇ КОКІЛЯ.....	114
<b>Будаг'янци М.А., Жижкіна Н.О., Гутько Ю.І.</b> (СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ) ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ВАЛКІВ ДЛЯ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ .....	115

<b>Богушевський В.С., Заболотна І.О. (НТУУ «КПІ») КРИТЕРІЙ РАЦІОНАЛЬНОГО ОБ'ЄМУ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	<b>116</b>
<b>Замятин Н.И. (ОНПУ, м. Одеса)</b>	
<b>МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЛИТЬЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК.....</b>	<b>118</b>
<b>Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В., Доценко Ю.В., Муха Д.В. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ В ОТЛИВКАХ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ПРОЦЕССЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ.....</b>	<b>119</b>
<b>Богушевський В.С., Сماشнюк Ю.О. (НТУУ «КПІ») ФУНКЦІЇ АСКТП МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ .....</b>	<b>120</b>
<b>Соценко О.В. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ФОРМЫ ГРАФИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ.....</b>	<b>122</b>
<b>Соценко О.В., Белич А.В., Посыпайко И.Ю., Шейдаев К.В. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13Л.....</b>	<b>123</b>
<b>Соценко О.В., Посыпайко И.Ю., Куркострига И.А. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФОРМЫ ГРАФИТА В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ.....</b>	<b>125</b>
<b>Соценко О.В., Посыпайко И.Ю., Савега В.С., Савега Д.А. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ.....</b>	<b>126</b>
<b>Соценко О.В., Посыпайко И.Ю., Савега В.С., Савега Д.А. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) ИЗНОСОСТОЙКИЕ НАКЛАДКИ И НАСАДКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ.....</b>	<b>128</b>
<b>Усенко Л.В., Репях С.И., Соценко О.В. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) О МЕТОДАХ УДАЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК.....</b>	<b>129</b>
<b>Соценко О.В., Снетков А.С., Белич А.В., Посыпайко И.Ю., Посыпайко Ю.Ю., Шейдаев К.В. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ) КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ.....</b>	<b>131</b>
<b>Становский А.Л., Коряченко А.А., Щедров И.Н. (ОНПУ, м. Одеса) ИДЕНТИФИКАЦИЯ СКРЫТЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>132</b>
<b>Ткаченко И.Ф., Розанов А.Р. (ГВУЗ «ЛГТУ», м. Маріуполь) ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНОЙ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ.....</b>	<b>134</b>
<b>Федорова Н.В. (ДДМА, м. Краматорськ) АНАЛІЗ ЗАСТОСОВУВАНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ .....</b>	<b>134</b>
<b>Филипенко Е.В. (ГГТУ им. П.О.Сухого, м. Гомель, Беларусь) ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА В УПРАВЛЕНИИ ЛИТЕЙНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ.....</b>	<b>136</b>

<b>Богушевський В.С., Шматко О.В. (НТУУ «КПІ») ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ .....</b>	<b>137</b>
<b>4 РОЗДІЛ. РОБОТИ СЛУХАЧІВ МАН.....</b>	<b>139</b>
<b>Артем'єв В.В., Днестрянська А.В. ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ГІДРОФОБНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ З ТЕХНІЧНИМИ ЛІГНОСУЛЬФОНАТАМИ .....</b>	<b>139</b>
<b>Завертайло М.В. (Спеціалізована школа №317) ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ .....</b>	<b>140</b>



**Костянтин Ілліч ВАЩЕНКО**  
1901-2001 рр.

**Декан Металургійного (Інженерно-фізичний) факультету**  
1944-1959 рр.

**Завідувач кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів**  
1944-1974 рр.



**Степан Пантелійович ДОРОШЕНКО**  
**1931-2009 рр.**

**Завідувач кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів**  
**1974-1991 рр.**



**Аркадій Павлович СЬОМИК**  
**1941-2000 рр.**

**Декан Інженерно-фізичного факультету**  
**1988-2000 рр.**

**Завідувач кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів**  
**1991-2000 рр.**

**Становський А.Л.  
К.И. Ващенко посвящаю**

В одной Державе отдалённой  
Жил Бог и Царь литейных дел.  
Ваять узор души влюблённой  
Был на Земле его удел.

У богатеющего сброда  
Кола не нажил, ни двора.  
Трудился Мастер для народа:  
Он отливал колокола.

Однажды взялся душ целитель  
Свой главный колокол отлить:  
Волшебной музыки обитель, —  
Меж небом и землёю нить.

Однако не выходит что-то,  
Не получается, хоть плачь, —  
Впервые вылилась работа  
В череду обидных неудач.

Творенья рук своих умелых  
Он много раз переплавлял,  
Был каждый колокол — из первых,  
Но сердце петь не заставлял...

И вот, объятый нетерпением,  
Людей подальше отослав,  
Он перед плавки завершёньем  
Вдруг прыгнул сам в кипящий сплав!..

Столпились люди в темном зале  
И наблюдали, не дыша,  
Как растворяется в металле  
Его бессмертная душа.

Творца порыв перехватили  
По мановению руки  
И новый колокол отлили  
Его друзья-ученики.



С тех пор малиновые звуки  
Несли мирскую благодать,  
И простирали люди руки  
В надежде тщетной долг отдать!

Была в них чувственность поэта  
Непостижимо хороша,  
И понимали люди: это  
Звучит не колокол, — душа!

В одной Державе отдалённой  
Жил Бог и Царь литейных дел.  
Ваять узор души влюблённой  
Был на Земле его удел.

У богатеющего сброда  
Кола не нажил, ни двора.  
Трудился Мастер для народа:  
Он отливал колокола!

2000 – 2001

Становський А.Л.

## Вчений, людина, друг...



Уквітчаний садами Козелець на Чернігівщині. Тут, у багатодітній сім'ї трударя-будівельника зробив свої перші кроки майбутній учений К.І. Ващенко. З 13 років розпочав трудове життя, засвоїв науку батьківського університету, став будівельником. У грізному 1919 році добровільно вступив до лав Червоної Армії, потім після демобілізації здійснилась його давня мрія – став робітфаківцем, вчився і закінчив в 1930 році Київський політехнічний інститут.

Перед молодим спеціалістом відкрились широкі і привабливі обрії творчих дерзань. Він плідно трудиться в Українському науково-дослідному інституті хімічного машинобудування, потім – інженером-дослідником на заводі “Більшовик” і одночасно працює викладачем у КПІ, вже в 1934 році успішно захищає кандидатську дисертацію, а в 1945 – докторську.

Девізом його життя стає поєднання викладацької і наукової діяльності, виховання спеціалістів-ентузіастів, творча праця з найбільшою користю для народного блага.

Далекий передвоєнний час. Молодий вчений поринув у дослідження, вносить вагомий внесок у створення і освоєння нових хімічно-стійких ливарних сплавів, вкрай необхідних країні.

Грізні роки битви проти гітлерівських варварів. КПІ перебуває в евакуації в Узбекистані. Константин Ілліч, забувши коли починається ранок, а коли наближаються сутінки, вдосконалює литво боєприпасів. І ось вагомий вклад: вдосконалені снаряди, міни і бомби влучно падають у ціль, знищують ненависного ворога, наближають довгожданий День Перемоги. Бойова нагорода – орден Червоної Зірки – прикрасила груди вченого політехніка.

Листопад 1943 року – Київ звільнено. Одним із перших повертається К.І. Ващенко. Забувши про втому, відпочинок, бере найактивнішу участь у відбудові рідного КПІ. А скільки невгамовної енергії, розуму і полум'я серця віддав він тоді створенню металургійного факультету, деканом якого був з 1944 по 1959 рік. А з яким захопленням і вмінням спрямовував діяльність кафедри ливарного виробництва, яку очолював протягом 3-х десятиріч!

За цей час тут підготовлено майже 2,5 тисяч інженерів. Їхні слова щирої вдячності кафедрі, зокрема проф. К.І.Ващенко, лунають не тільки з різних кінців нашої Вітчизни, а з багатьох країн світу. Зі словами гарячої вдячності звертаються до Константина Ілліча румунські, німецькі, болгарські друзі. Під керівництвом К.І.Ващенка випускник Бухарестського політехнічного інституту Лауренцій Софроні успішно захистив кандидатську дисертацію, разом зі своїм вчителем написав книгу “Магнієвий чавун”, у якій узагальнені їх спільні дослідження. Ця книга перекладена на румунську, німецьку і китайську мови, стала цінним посібником для студентів та виробників.

Посланець з Болгарії Родослав Тодоров після закінчення металургійного факультету вчився в аспірантурі. Він щодня відчував батьківську чуйність і допомогу К.І. Ващенка, підготував і захистив кандидатську дисертацію, присвячену дальшому поліпшенню якості чавуну, обробленого магнієм. Естафету творчих здобутків Р. Тодоров впевнено поніс із столиці України на болгарську землю.

Коли задумуєшся над кожним етапом життєвого шляху Константина Ілліча, переконуєшся: він робив усе можливе, а іноді, здається, і неможливе, щоб люди відчували його душевну щедрість, щоб вона продовжилася та виблискувала всіма гранями в житті учнів і вихованців невгамовного вченого-ветерана.

Можна собі уявити: вийшов би на сцену проф. К.І.Ващенко зі своїми чисельними вихованцями. Якими б гарячими оваціями нагородили їх вдячні люди. При цьому пригадували б: він не тільки підготував б докторів наук і 80 кандидатів наук, а і разом з ними розв'язував злбоденні науково-технічні проблеми. Колишні студенти і аспіранти, вихованці кафедри зберігають у своїх серцях палку вдячність Костянтину Іллічу за глибокі знання і навички дослідної праці, за цінні поради і підтримку в творчих злетах.

А як не згадати про його багатогранну діяльність в складі редакційних колегій журналів “Литейное производство”, “Технология и организация производства”, у раді по захисту докторських і кандидатських дисертацій в КПІ та в інституті проблем литва АН УРСР.

Скільки сердечних подяк заслужив проф. Ващенко своєю невтомною діяльністю в складі різних наукових рад при Головному комітеті Ради Міністрів СРСР з науки і техніки, Академії наук СРСР, Міносвіти СРСР, Держплану і Міносвіти УРСР.

І ось вона, всенародна шана: на грудях К.І. Ващенка сяють ордени Леніна, два ордени Трудового Червоного Прапора, орден Червоної Зірки, орден Дружби народів, медалі “За доблесну працю у Великій Вітчизняній війні 1941-1945 рр.”, “30 років перемоги у Великій Вітчизняній війні 1941-1945 рр.”, Ветеран праці. Він удостоєний Почесною грамотою Президії Верховної Ради України, має Почесне звання “Заслужений діяч науки і техніки України”.

Відомий учений, організатор наукової школи в нашій країні і за кордоном, він був простим і доступним для кожного, завжди готовий прийти на допомогу порадою й ділом. Ми, колеги і учні Костянтина Ілліча, знали, що його добра душа і серце відкриті в будь-який час для всіх.

Життя Костянтина Ілліча – то жива історія КПІ, якому він був відданий до останку. Пам'ять про К.І. Ващенко – світлий приклад для всіх, хто його знав і був поруч з ним.

Доцент Кошовник Г.І.

## 80 років від дня народження завідувача кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів професора Дорошенка С.П.



Дорошенко Степан Пантелійович народився 7 травня 1931 року в селі Поташня Канівського району, на той час Київської області. Навчався у Таганчанській середній школі, яку закінчив у 1947 році. На нещодавно створеному професором К.І.Ващенком з однодумцями металургійному (нині – інженерно-фізичному) факультеті з 1 вересня 1950 року навчався в унікальній за своєю долею групі ЛВ-11. Це був лише одинадцятий випуск інженерів-ливарників нашого факультету. Ось спогади самого професора про роки свого навчання:

*Що являли собою вступники КПП? Це дула в основному молодь 1931 і 1925 року народження (1925 року – ті, які демобілізувалися з армії). Ось при такому співвідношенні у віці почалася спільна підготовка інженерів. Більшість закінчила школу з медалями.*

*Спочатку старші дивилися на молодших «пацанів» з деякою зверхністю. Однак протягом перших двох курсів усі знайшли спільну мову і почали одне одному допомагати. До групи було переведено також ряд студентів з інших спеціальностей і загальна кількість досягла 25 осіб. Абсолютно всі вони закінчили інститут. Я не пам'ятаю ливарних груп, в яких по закінченні КПП налічувалось би 25 студентів.*

*Усі студенти мали небагатих батьків, більшість (19 чоловік) жили у гуртожитку (другий виховний колектив), де за чергою готували харчі, чергували на кухні і таке інше. Група часто відвідувала кінотеатри, театри, здійснювала народні гуляння на природі.*

*З 25 студентів у групі було лише три дівчини. Усі випускники працювали після закінчення КПП за спеціальністю. П'ятеро стали кандидатами технічних наук, один – доктором технічних наук.*

*Оглядаючись на цей етап, я пишаюся тим, в якій чудовій групі мені пощастило навчатися.*

Після закінчення металургійного факультету КПП в 1955 р. С.П. Дорошенко працював на Київському заводі “Більшовик” (до 1959 року), де пройшов шлях від технолога до заступника головного металурга заводу.

У 1959 р. вступив до аспірантури КПП, після закінчення якої працював на кафедрі ливарного виробництва асистентом (1962–1964 рр.).

У 1963 році захистив кандидатську дисертацію за темою «Дослідження умов утворення легковідокремлюваного пригару». Багаточисленними експериментами було доказано, що головну роль в утворенні пригару на чавунних і сталевих виливках відіграють оксиди заліза. При цьому легке відокремлення

пригарної плівки від виливка відбувається у разі утворення товстої плівки (80...100 мкм) оксидів заліза між поверхнею виливка і пригарною кіркою.

Викладена С.П.Дорошенком теорія пригару одержала міжнародне визнання і дала поштовх розвитку науково-дослідних робіт у цьому напрямку в багатьох організаціях СРСР. Результати роботи були узагальнені в монографії «Получение отливок без пригара в песчаных формах». Монографія перекладена і видана японською і китайською мовами.

З 1964 по 1972 рік С.П.Дорошенко був доцентом кафедри ливарного виробництва, активно працюючи в науковій сфері. Об'єктом його досліджень були наливні (або рідкорухомі) самотвердні суміші – РСС.

За науково-дослідну роботу “Дослідження і розроблення технології виготовлення наливних форм і стрижнів” Ученою радою інституту в 1970 р. Дорошенко С.П. і Ващенко К.І. були удостоєні звання лауреатів премії КПІ. На київському заводі “Більшовик” була впроваджена перша автоматична лінія виготовлення форм і стрижнів із наливних сумішей.

У 1972 році Дорошенко С.П. захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук на тему «Наливні (рідкі) самотвердні суміші». З цього часу кафедра займає провідне місце з технології виготовлення форм із сумішей цього виду, а Степан Пантелійович став наймолодшим в СРСР доктором наук з ливарного виробництва: на той час йому виповнився лише 41 рік.

Результати цих досліджень опубліковані більше ніж у 10 брошурах і в монографії «Наливная формовка» (1978).

З 1972 року Дорошенко С.П. працює на посаді професора, а з 1974 року очолює кафедру ливарного виробництва.

Під керівництвом професора Дорошенка С.П. було проведено цілий ряд робіт, які сприяли поліпшенню навчального процесу студентів та наукової праці. На кафедрі вперше створені і опубліковані методичні посібники з усіх навчальних дисциплін. Більшість із них мали гриф Міністерства освіти. Посібники кафедри і зараз користуються попитом в інших ВНЗ України та СНД. Для ефективного вивчення спеціальних дисциплін обладнані аудиторії, де лекції читаються з використанням технічних засобів навчання. Лабораторії в свою чергу обладнані сучасним дослідницьким та експериментальним, а також виробничим устаткуванням.

Разом із співробітниками кафедри професор Дорошенко С.П. видав за 30 років більше 40 навчально-методичних розробок, приділяючи велику увагу профорієнтації школярів на таку “немодну”, але конче потрібну професію ливарника. З цієї проблеми опубліковано 4 книги, які використовують в усіх вищих навчальних закладах СНД металургійного профілю.

Головні напрями наукової діяльності С.П.Дорошенка в 70-80 рр. ХХ століття – теорія та технологія виготовлення виливків у піщаних формах, які тверднуть у контакті з оснасткою, фізико-хімічні процеси взаємодії металу з формою. Ним створено наукову школу з цих проблем. Він є одним з провідних фахівців з названих питань, а також з розроблення екологічно чистих технологій для виготовлення високоякісних виливків при мінімальних витратах.

Зусиллями проф. Дорошенка С.П. були налагоджені зв'язки кафедри ливарного виробництва КПІ з інститутами дальнього зарубіжжя: Китаю, Чехії, Болгарії, Румунії, Куби, В'єтнаму, Німеччини та інших країн. Кафедра ливарного виробництва КПІ стала місцем стажування фахівців із ближнього та дальнього зарубіжжя.

Разом з кафедрою ливарного виробництва технічного університету м. Брно підготовлена монографія «Формовочные материалы и смеси», видана в Києві 1990 р. (російською мовою) і в Празі в 1991 р. (чеською мовою).

Проф. Дорошенко С.П. був науковим керівником двох галузевих науково-дослідних лабораторій ливарного виробництва – Міншляхмашу СРСР і Міненерго УРСР, постійно сприяв виконанню держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідницьких робіт. Їхня характерна особливість – тісний зв'язок із промисловістю і широке впровадження результатів досліджень на заводах України та Росії.

Професор Дорошенко С.П. брав активну участь у науково-громадській роботі:

- член методичних комісій з ливарного виробництва Мінвузу СРСР і УРСР;

- член проблемної комісії “Чорна металургія СРСР” при АН і ДКНТ СРСР;

- заступник голови комісії з координації науково-дослідних робіт з технології піщаних форм при Академії Наук України;

- заступник голови металургійної секції Республіканського будинку економічної і науково-технічної пропаганди товариства “Знання”, де щорічно проводив 1-2 науково-технічні конференції з актуальних проблем ливарного виробництва;

- член секції машинобудування Комітету з державних премій України в галузі науки і техніки;

- член Експертної ради з металургії ВАК України (1993–1999);

- голова методичної комісії з технологічної підготовки студентів при Методраді КПІ (1976–1986);

- голова первинної організації товариства охорони природи (1979–1984);

- член спеціалізованих вчених рад із захисту кандидатських і докторських дисертацій.

З 1992 р. Дорошенко С.П. був членом Комісії Міжнародного комітету технічних асоціацій ливарників (від України) з технології виготовлення ливарних форм із рідкоскляних сумішей.

З самого початку створення часопису “Метал і литво України” (1992) Дорошенко С.П. брав активну участь у ньому як член редакційної колегії.

З 1991 року кафедру очолює його учень і послідовник А.П.Сьомик, а Дорошенко С.П. працює професором. В цьому ж році він був обраний членом-кореспондентом Міжнародної інженерної академії і дійсним членом Академії інженерних наук України, у 1996 році – академіком Інженерно-технічної Академії Чуваської Республіки (з 1996 р.), у 1998 році – академіком Міжнародної інженер-

ної Академії. У 1998 р. Ученою Радою НТУУ „КПІ” удостоєний почесного звання “Заслужений професор НТУУ “КПІ”.

У цей період Дорошенко С.П. видав такі незамінні і для сучасних студентів навчальні посібники, як «Взаємодія піщаної форми з виливком» (1991); «Формувальні суміші» (1997); «История художественного литья» (2003); «Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах» (2003); «Опоки ливарні» (2008), які були рекомендовані Міністерствами науки і освіти України і Російської Федерації для усіх вищих навчальних закладів.

Він читав лекції в багатьох вузах України, Росії, Узбекистану, Казахстану, Куби, Китаю, Чехії та інших країн. Ім'я професора С.П.Дорошенка відоме в усіх провідних університетах світу, які здійснюють підготовку фахівців з ливарного виробництва.

Останні роки професор Дорошенко активно займався дослідженням історії ливарного виробництва в Україні, художнього литва, відродженням забутих імен і подій нашої історії. Ним підняті актуальні питання висвітлення дійсної історії України, зокрема Переяславської Ради, козаччини, справжнього образу Т.Г.Шевченка. З цих питань опубліковано понад 90 праць, зокрема монографія про свій рідний край «Над Канівщиною – плин тисячоліть» (2005).

У 2002 році Дорошенко С.П. як активний публіцист прийняв запрошення і став членом спілки журналістів України.

Професор С.П.Дорошенко підготував 27 кандидатів і 4 докторів технічних наук, у т.ч. для дальнього зарубіжжя: Німеччини, Румунії, Болгарії, Куби, В'єтнаму. Опублікував понад 650 наукових та навчально-методичних праць, у т.ч. більше 50 книг і брошур. Чимало книг вийшли в Японії, Китаї, Чехії, а наукові доповіді – в Польщі, Китаї, Болгарії, Німеччині, Кубі, Югославії та інших країнах. Має понад 40 авторських свідоцтв і патентів. У 1981 р. нагороджений знаком “Винахідник СРСР”.

За кількістю публікацій він займає почесне третє місце серед усіх вчених СНД, які працювали у галузі технічних наук.

За вагомий внесок у наукову і навчальну роботу нагороджений знаком Мінвузу СРСР “За відмінні успіхи в роботі” (1972), а також 4-ма медалями. У 2007 році став лауреатом довічної стипендії Президента України видатним діячам науки і освіти.

У 2006 році був рекомендований Вченою Радою НТУУ «КПІ» до присудження звання «Заслужений працівник освіти України», але через бюрократичну недбалість цього так і не дочекався.

Однією із мрій професора було створення музею ливарного виробництва. Для створення такого музею необхідна була перш за все історична будівля. Таку будівлю було знайдено – це колишній ливарний цех, який був складовою механічних майстерень КПІ, і побудований в 1896–1901 рр. У 1989 р. ливарний цех звільнився у зв'язку з перебазуванням факультету у новий, 9-й корпус.

Дякуючи активному захисту цього будинку дійсними патріотами збереження культури і історичних цінностей під керівництвом професора С.П.Дорошенка (ініціативні групи ливарників КПІ, ФТІМС НАН України, го-

ловні металурги багатьох заводів, Всесоюзна Асоціація ливарників, ряд обласних асоціацій ливарників, товариство охорони пам'ятників та інші), преси, радіо, телебачення ливарний цех вдалось зберегти від знесення для створення музею.

Так С.П.Дорошенко врятував пам'ятку архітектури, яка на сьогодні являє собою частину загального політехнічного музею України.

Степан Пантелійович Дорошенко усе життя збирав власну колекцію художнього литва. У ній налічується більше двохсот виробів, головна частина яких – це витвори рук знаменитих уральських майстрів (так зване Каслінське литво, відзначене багатьма міжнародними преміями).

В останній рік свого життя професор прийняв безпрецедентне рішення: усю свою колекцію художніх виробів та бібліотеку (більше 2000 книг) він передав на відповідальне зберігання і користування кафедрі ливарного виробництва.

Колекція художнього литва професора С.П.Дорошенка представлена на кафедрі в його робочому кабінеті.

Професор пішов від нас 5 лютого 2009 року. Але його задуми і проекти продовжують реалізовуватись. Ще не вийшла остання наукова стаття за його авторством, ще знаходиться у видавництві його фундаментальна п'ятнадцятирічна праця – багатомовний словник з ливарного виробництва. І безумовно, в кожному з нас, його учнів і співробітників, залишиться назавжди вогник світлої пам'яті про С.П.Дорошенка.

Лютий Р.В.



**Вчений-ливарник, декан ІФФ, завідувач кафедри:  
Аркадій Павлович Сьомик**



Доктор технічних наук професор.  
Заслужений працівник народної освіти України.  
Декан інженерно-фізичного факультету  
(1988-2000 рр.).  
Завідувач кафедри ливарного виробництва чорних і  
кольорових металів  
(1991-2000 рр.).

Вчений-ливарник, визнаний фахівець у галузі ливарного виробництва, учень видатного вченого-металурга д.т.н. професора К.І. Ващенка.

В 1963 році А.П. Сьомик закінчив металургійний факультет Київського політехнічного інституту за спеціальністю “Ливарне виробництво чорних і кольорових металів” і вся його трудова діяльність пов’язана з інститутом. Інженер, аспірант, науковий співробітник, доцент, професор, завідувач кафедри, декан факультету. Захистив кандидатську (1969 р.) і докторську (1989 р.) дисертації.

А.П.Сьомик значну увагу приділяв удосконаленню навчального процесу на факультеті. Його великій досвід як викладача і організатора використаний під час реформування вищої освіти в Україні. Аркадій Павлович був заступником голови науково-методичної комісії Міністерства освіти і науки України з металургії.

За видатні досягнення в галузі вищої освіти в 1998 році наказом Президента України А.П. Сьомику було присвоєне почесне звання “Заслужений працівник народної освіти України”.

За безпосередньою участю Аркадія Павловича на кафедрі відкриті нові спеціалізації “Художнє та ювелірне литво” і “Технологія виготовлення литих стоматологічних і ортопедичних протезів”.

Вченою Радою НТУУ “КПІ” затверджено Положення про іменну стипендію імені професора Сьомика А.П. для п’яти кращих студентів інженерно-фізичного факультету, які мають фінансуватися за рахунок благодійних внесків у благодійний “Фонд сприяння розвитку науки та освіти імені Сьомика А.П.”.

Пріоритетний напрямок наукової діяльності – розроблення екологічно чистих формувальних і стрижневих сумішей на основі технічних лігносульфонатів, ливарних формувальних сумішей багаторазового використання замість вогнетривів для утворення ливникового ходу при сифонному розливі сталі, формоутворення виливків з чавуну та сталі методами зовнішньої дії на метал і форму.

Результати наукової діяльності опубліковані в понад 200 наукових працях, їх наукова новизна підтверджена 15 авторськими свідоцтвами СРСР, 4 патентами України і Росії. Видано більш ніж 20 навчальних і методичних посібників з різних дисциплін спеціальності “Ливарне виробництво”.

Аркадія Павловича Сьомика відрізняв високий професіоналізм викладача і науковця, людяність та чуйне відношення до студентів і співробітників, порядність, активна життєва позиція, вміння знаходити вірні рішення як в науці так і в житті.

# 1 РОЗДІЛ. ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Адаменко Л.А., Иванова Л.Х., Осипенко И.А.  
(НметАУ, м. Дніпропетровськ)

## ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

Для высокомарганцевой стали, не претерпевающей фазовых превращений при термообработке, получение мелкозернистой структуры может быть достигнуто только за счет мероприятий, регулирующих процессы кристаллизации. Из всех элементов модификаторов, применяющихся при производстве различных марок сталей и сплавов, для высокомарганцевой стали наиболее эффективным оказался титан. Обладая большим химическим сродством к азоту, содержание которого в 4...6 раз больше, чем в углеродистых марках стали феррито-перлитного класса, титан образует в стали при температурах ее кристаллизации взвеси нитридов титана TiN, измельчающие зерно аустенита.

Металлографический и химический анализы неметаллических включений высокомарганцевой стали, модифицированной титаном подтвердил, что в жидком расплаве образуется кристаллическая взвесь нитридов титана. Исследования структуры и свойств стали 110Г13Л показали, что нитриды титана являются активными центрами кристаллизации и оказывают существенное влияние на улучшение свойств стали. Так, в стали с содержанием 0,07...0,15 % титана средний размер зерна аустенита уменьшился в 2 раза, заметно снизилась дендритность структуры и склонность отливок к трещинам, на 10...15% повысились механические свойства (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства опытной стали 110Г13Л и серийного производства

Присадки Ti, мас. %	Механические свойства						Балл зер- на аусте- нита
	$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{т}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	НВ	
–	655	380	18,0	17,5	160	208	1-2
0,10	750	400	27,0	29,0	227	216	2-3

Сравнительные испытания стойкости брони конусных дробилок мелкого и среднего дробления, модифицированных 0,07...0,15% титана показали, что рабочий ресурс их возрос в среднем на 30% (табл. 2). Себестоимость 1 т стали повысилась на 900 грн. Экономический же эффект составляет около 5000 грн. на каждой тонне модифицированной стали.

Таблиця 2 – Показатели работы броней конусных дробилок, изготовленных из опытной высокомарганцевой стали и серийного производства

Тип броней	Показатели работы броней из стали 110Г13Л			
	без Ti		с содержанием 0,07...0,15% Ti	
	Ч	Т	Ч	Т
КМД-2200	385	137000	500	170300
КСД-2200	550	192000	700	240000

**Василенко М.О., Ткаченко І.Ф.**  
(ПДТУ, м. Маріуполь)

### **БАГАТОЦІЛЬОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛЕЙ ДЛЯ ГЛИБОКОГО ВИТЯГНЕННЯ**

Холодний прокат протягом багатьох років в великих обсягах продукується металургійними підприємствами України. Проте, якість цього різновиду металопродукції залишається на недостатньо високому рівні, що обмежує експортні можливості металургійної галузі України.

Проблеми, що виникають при виробництві холодного прокату, вимагають до себе: знижену здатність до глибокого витягнення; низькі рівні пластичності та міцності прокату; розриви стрічки під час деформації та ін. Складнощі з вирішенням вказаних проблем обумовлені впливом на якість прокату великої кількості технологічних факторів, серед яких важлива роль належить концентраціям вуглецю, легуючих та домішкових хімічних елементів.

Попередні дослідження показали можливість значних змін показників якості холодного прокату, зокрема, в залежності від співвідношення концентрацій: Mn, Si, Al, N, S та ін.

Враховуючи необхідність забезпечення стабільно високих значень всіх без винятку показників експлуатаційних та технологічних властивостей холодного прокату, обов'язковою є багатоцільова оптимізація хімічного складу сталей, що використовуються. Проведення такої оптимізації потребує розробки відповідних регресійних моделей та їх подальшого опрацювання методами комп'ютерних експериментів.

**Могилатенко В.Г., Ямшинський М.М., Власюк І.А., Бурлака Т.В.**  
(НТУУ «КПІ»)

### **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ**

Однією з найважливіших експлуатаційних характеристик деталей машин та інструменту є зносостійкість, так як більше 70% деталей машин та інструменту виходять з ладу по причині зносу. Існує безліч способів поверхневого зміцнення деталей: накатка, хіміко-термічне оброблення, електролітичні покриття, тощо. Проте цими методами не вдається отримати товщину шару з не-

обхідними властивостями більш ніж 0,3 мм, що явно недостатньо для крупногабаритних деталей типу лопатей гідротурбін, броневих плит вуглерозмельних млинів, валків прокатних станів тощо. Товщина шару із спеціальними властивостями в таких виливках повинна бути не менше 8...10 мм. Такий шар з великими затратами праці і коштовних матеріалів отримують наплавками.

В пошуках більш економічного способу зміцнення поверхні деталі ливарники вже давно запропонували сумістити процес легування поверхневого шару з процесом отримання самого виливка.

Сутність поверхневого легування в загальному випадку заключається в тому, що виливок в процесі кристалізації дотикається до середовища (твердого, рідкого чи газоподібного), з якого отримує (чи в яке віддає) певні елементи. В результаті поверхневий шар виробу набуває властивості, відмінні від властивостей всього об'єму виливка.

Найбільш перспективним і економічно вигідним є метод, коли на форму чи стрижень наноситься шар обмазки, який містить легувальні елементи, які в процесі твердіння виливка насичують його поверхню легувальними елементами. Поверхнєве легування дозволяє в значній мірі скоротити витрати дорогих та дефіцитних легувальних елементів.

Для підвищення зносостійкості використовують дрібнодисперсні частинки тугоплавких сполук, таких, як карбід титану, борид титану, нітрид титану, карбід бору, оксиди хрому, титану тощо. Як зв'язувальний компонент застосовують рідке скло, гідролізований етилсилікат, патоку тощо.

Досліди по поверхневому легуванню та модифікуванню виливків проводились ще в 40-х роках. Початок широких досліджень цього процесу заклали А.А. Горшков та Е.І. Рабинович. Невдовзі спосіб поверхневого легування вийшов за рамки експериментальних досліджень. Успішні досліди, проведені в 60-80 роках, дозволили розширити область використання поверхневого легування для більшої номенклатури виливків в різних умовах виробництва. Поряд з технологічними аспектами посилено вивчалися і питання механізму процесу. Найбільш ґрунтовні дослідження в цьому напрямку проведені П.П. Бергом, А.М. Михайловим, Ю.І. Сидоровим, А.І. Вейніком. Проте строгої загальноновизнаної теорії поверхневого легування (модифікування) виливків поки немає. Особливо багато протиріч висловлюється по відношенню до механізму масопереносу легувального елемента в поверхневий шар виливка. В літературі можна зустріти самі різноманітні, іноді суперечливі висловлювання щодо фізичного механізму процесу поверхневого легування виливків. В одному з самих ранніх досліджень, проведених А.Е. Брюхановим, ефект насичення поверхневого шару виливка легувальним елементом з обмазки пояснюється процесом дифузії. В іншому ґрунтовному дослідженні А.А. Горшков та Е.І. Рабинович критикують дифузійну фізичну модель процесу та приходять до висновку, що вирішальне значення на процес справляє температура плавлення обмазки.

Також недостатньо відпрацьована технологія нанесення легувальної обмазки на поверхню форми чи стрижня та можливість механізації та автоматизації процесу. Потрібно приділити особливу увагу ролі змочування обмазки

металом вилівка. Необхідно дослідити структуру перехідної зони та силу зчеплення між основним металом та легованим шаром.

Через недостатньо повну технологічну і теоретичну розробку способу поверхневого легування вилівок його використання вельми обмежено.

Тому роботи, які направлені на вдосконалення технології виготовлення вилівок із диференційованими властивостями, вкрай необхідні та своєчасні.

**Вопнерук А.А., Валиев Р.М., Ведищев Ю.Г.**

*(УрФУ, м. Єкатеринбург)*

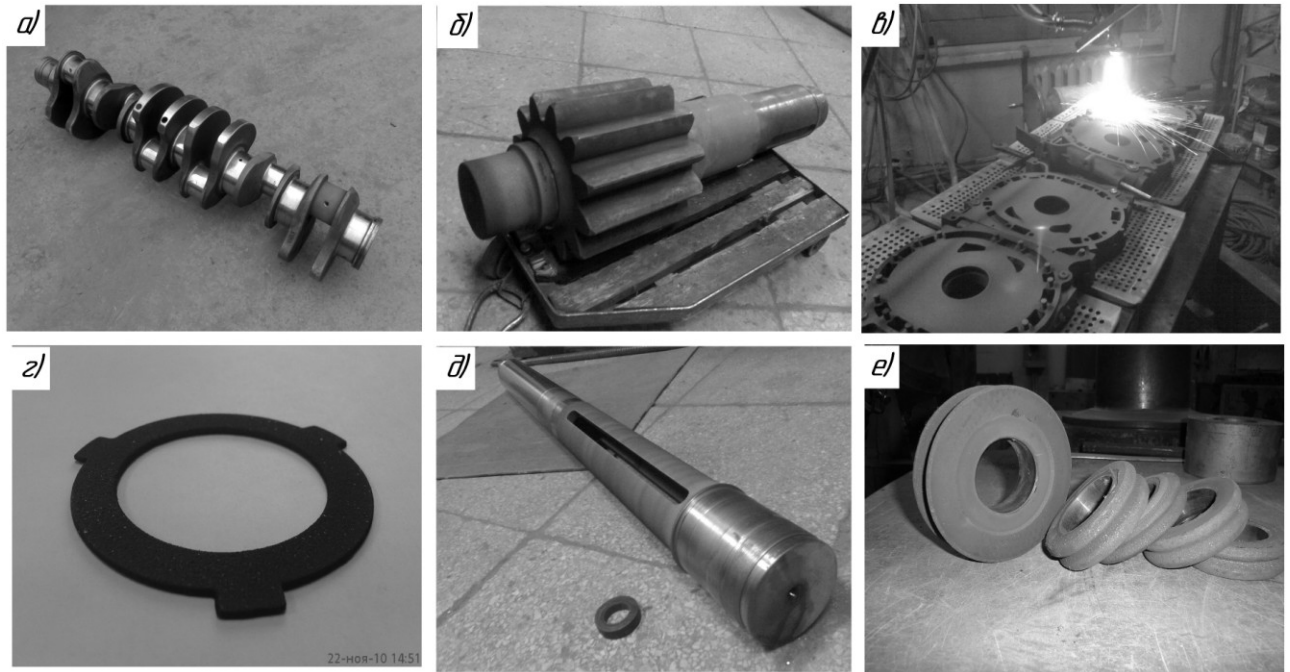
## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРИНЦИПУ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА**

Как правило, при эксплуатации имеет место локальное изнашивание рабочей поверхности детали в местах, наиболее интенсивного взаимодействия с рабочей средой или сопряженной деталью. Одним из эффективных способов реновации изношенных деталей и упрочнения новых является газотермическое напыление, позволяющее наносить покрытия с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Так, на многофункциональной установке «Техникорд Топ-жет/2» нам удается успешно получать износостойкие покрытия напылением порошковых проволок. Особенности процесса высокоскоростного газопламенного напыления позволяют получать в структуре углеродисто-хромистых покрытий системы Fe-C-Cr-Ti аномально большое количество метастабильного хромистого аустенита, способного под воздействием деформации претерпевать  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения, что не только способствует упрочнению рабочей поверхности в процессе эксплуатации, но и обеспечивает частичную диссипацию энергии. Реализация данного механизма в сочетании с высокими когезионными и адгезионными прочностными характеристиками напыляемых покрытий позволяет нам успешно упрочнять и восстанавливать детали машин различного назначения.

Так, нами были проведены работы по упрочнению лопаток роторов нагнетателей. Испытания покрытий из порошковой проволоки на основе низколегированного железного сплава проводились на ОАО «КГОК-Ванадий» (г. Качканар), ОАО «ЧМК» (г. Челябинск), ОАО «ЗСМК» (г. Новокузнецк) и показали положительные результаты: средняя наработка роторов нагнетателей с упрочненными лопатками в 1,5...2 раза выше по сравнению с неупрочненными.

Данная технология помимо защиты от газообразивного изнашивания успешно применяется и для упрочнения и реновации деталей, работающих в условиях трения скольжения, некоторые из реализованных примеров представлены на рис. 1.



*a* – коленчатый вал двигателя «Cummins» автомобиля «БелАЗ» с восстановленной шатунной шейкой; *б* – приводная шестерня с восстановленным посадочным местом; *в* – восстановление рабочей поверхности корпусных деталей (крышек) роторно-поршневых двигателей «Mazda»; *г* - восстановленный диск фрикционной муфты токарного станка; *д* - восстановленный шток гидравлической системы бурового оборудования; *е* – восстановленные прокатные ролики

Рис. 1 – Примеры применения исследуемых покрытий:

Применение современного оборудования и новейших разработок в области газотермического напыления, а также многолетний опыт успешной работы по упрочнению и реновации деталей машин различного назначения позволяет эффективно решать самые сложные технологические задачи, обеспечивая необходимую взаимосвязь отраслевой науки и производства.

**Гавалешко Н.С., Кочешков А.С.**  
(НТУУ «КПІ»)

### **ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИФУЗІЙНОЇ ЗОНИ БІМЕТАЛЕВОГО ВИЛИВКА**

Виготовлення біметалевих виробів із сплавів кольорових металів шляхом послідовного заливання металів дає можливість:

- створення принципово нових ювелірних прикрас вишуканого дизайну;
- розвитку нового напрямку виробництва у ювелірній справі та нумізматиці.

Дослідження направлені на визначення оптимальних умов для утворення міцного перехідного шару. Для цього були виготовлені зразки, які склалися з мідної підложки, наважки срібла з різними флюсами.

В результаті проведення дослідів визначено, що найбільше значення товщини перехідного шару Cu – Ag дорівнює 0,185мм, у випадку нанесення на мідну основу суміші бури та борної кислоти.

Найкраща змочуваність сріблом мідної основи досягнута при нанесенні флюсу ПВ-209 (середнє значення кута змочування - 57,3°).

Найкраща взаємопроникненість металів у перехідному шарі спостерігалась у випадку офлюсовування борною кислотою, хімічний склад – 47,88% Ag та 52,12% Cu.

З діаграми стану “Ag – Cu” визначили, що у випадку з офлюсовуванням сумішшю бури та борної кислоти, фактичне значення взаємопроникненості металів найближче до значення евтектик. В результаті атомної дифузії, по обидва боки від площини з’єднання металів, утворився твердий розчин з плавно змінною концентрацією.

Наступним кроком в дослідженнях буде визначення фізико-механічних властивостей перехідного шару: мікротвердість та міцність дифузійної зони. Визначення мікротвердості доцільно проводити мікротвердоміром ПМТ-3 на металографічних шліфах досліджуваних зразків біметалевих виливків. Головна цінність методу – це можливість оцінки твердості окремих фаз та структурних складових. Оцінка розсіву значень мікротвердості в перехідній зоні слугує непрямою оцінкою міцнісних мікронеоднорідностей матеріалу. Тому на досліджувану поверхню буде наноситися не менш 20-ти відбитків з наступним їх виміром, визначенням мікротвердості та статистичною обробкою отриманих результатів.

**Діренко А.Ю., Кіщенко О.М.**  
*(КТУ, м. Кривий Ріг)*

## **АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КУЛЬ, ЩО МЕЛЮТЬ**

Процес подрібнення сировини і матеріалів широко застосовується в різних переробних галузях промисловості, а технологія дроблення і подрібнення руд і інших твердих матеріалів – одна з найбільш масштабних і енергоємних, і як наслідок цього дорогих. На даний час актуальним завданням для металургійного виробництва є підвищення зносостійкості куль, що мелють.

В чавуні є властивості, які обмежують його вживання – чавун має низьку ударостійкість, тобто може розсипатися від ударних навантажень.

Проблему зносостійкості можливо вирішити кількома способами, найбільш доступним з технологічної та економічної точки зору є модифікування чавуну. Модифікування чавуну призведе до значного підвищення їх міцнісних характеристик, знизить витрату куль на 1 тонну подрібнюваного матеріалу і намелювання куль.

Значний позитивний вплив на якість чавунних куль надає ковшове модифікування чавуну такими добавками як Ti, Ti(CN), SiCa. При цьому, бажано



використовувати ці матеріали у вигляді наномодифікаторів, що призводить до зменшення витрати модифікатора, підвищення їх засвоєння.

Модифікування чавуну, що включає обробку розплаву парафіном, екзотермічною сумішшю оксиду заліза, порошка алюмінію і вуглецевістких матеріалів, в розплав додатково вводять порошок молібдену з розміром часток 10...100 мкм в кількості 0,3...0,4 % від маси розплаву.

Оскільки молібден є тугоплавким металом, для його активного розчинення потрібна висока температура розплаву. Створюються реальні передумови для активування окислювально-відновної реакції між оксидом заліза, алюмінієм і вуглецевістким матеріалом. Обидві реакції протікають із значним виділенням тепла, тобто сумарний алюмінокарботермічний процес створює локальний перегрів розплаву (до 2800<sup>0</sup>С) в зоні часток екзотермічної суміші. У цій зоні відбувається активне розчинення в металі часток молібдену. В результаті зростає ефективність його засвоєння.

Вживання високодисперсної екзотермічної суміші і молібдену дає можливість проводити обробку розплаву при порівняно низьких температурах плавильної печі.

Рентгеноструктурний і фазовий аналізи показали, що в модифікованому чавуні окрім  $\alpha$  -заліза і карбіду  $Fe_3C$  і  $FeC$  виявлені дисперсні кристали  $\epsilon$ -карбіда типу  $\epsilon - Fe_3C$ , наявність якого призводить до дисперсного зміцнення залізовуглецевих сплавів.  $\epsilon$  – карбід когерентно пов'язаний з ґратками металу, про що свідчить різке збільшення в цій зоні основного піку інтенсивності -  $\alpha$  заліза.

Структура отриманого чавуну виявилася схожою з мартенситною структурою сталі, легованою великою кількістю молібденомістких з'єднань, відпущеною при високих температурах (500...600<sup>0</sup>С).

Виникнення часток спеціального карбіду і поява мартенситної структури призвело до зростання стійкості чавуну до зносу в 1,5 рази.

Дослідження показали, що модифікування наномодифікаторами дозволяє усунути стовбчатість, подрібнити і зміцнити структуру куль, підвищити їх зносостійкість.

**Доценко Ю.В., Селиверстов В.Ю., Перепечаева Е.А.**  
(*НМетАУ, м. Дніпропетровськ*)

### **ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА А356 ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ РАСПЛАВ**

Свойства литого металла зависят от целого ряда факторов различной значимости. Поэтому разработка достаточно универсальных технологических процессов, направленных на снижение непроизводительных потерь металла с

одной стороны, и на повышение его качества – с другой, неизменно является актуальной задачей технологов и исследователей.

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

Эффективный способ изменения морфологии кристаллизующихся фаз – их затвердевание в резко неравновесных условиях. При этом создаются условия для измельчения зерна, значительного расширения растворимости в твердом состоянии, подавления роста грубых включений первичных интерметаллидов. В частности, в технологических схемах литья с кристаллизацией сплавов под давлением (ЛКД) давление, прикладываемое к расплаву в процессе затвердевания, значительно влияет на характер кристаллизации. Увеличение скорости охлаждения приводит к соответствующему росту скорости кристаллизации, которая изменяется в результате влияния давления при кристаллизации на число центров и скорость роста зародышей. Скорости охлаждения возрастают в зависимости от габаритов отливок, температурных условий литья, метода прессования от 2...3 до 10 и более раз. Повышение скорости охлаждения цветных сплавов, основанных на системах с ограниченной растворимостью, приводит к изменению структуры и легирования твердого раствора, связанных с дендритной ликвацией и образованием квазиэвтектики.

Одним из эффективных способов воздействия на кристаллизующийся металл является, в частности, газодинамическое воздействие. При осуществлении такого процесса к моменту начала подачи газа на поверхности рабочей полости литейной формы должен сформироваться слой твердого сплава такой толщины, который может обеспечить герметичность системы вплоть до полного затвердевания отливки.

Также к числу методов воздействий на кристаллизующийся металл, нашедших практическое применение, относятся методы, использующие введение в расплав упругих колебаний.

В лабораторных условиях были проведены исследования влияния переменного газового давления на структурообразование металла отливок из сплава А356. Результаты лабораторных исследований показали повышение механических свойств литого металла и снижение пористости цилиндрических отливок из сплава А356 диаметром 50 мм и высотой 100 мм. В порядок технологических операций изготовления отливки были включены следующие этапы: проведение рафинирования (препарат DEGASAL T200 и модифицирования нанопорошком TiCN, введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона) с начальными показателями давления 0,15...0,2 МПа, последующее наращивание давления до

1,3...1,4 МПа и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в результате газодинамического воздействия удалось измельчить структурные составляющие, в результате чего увеличились на 20...25% пластические свойства литого металла и на 8...12 % увеличилась его плотность.

**Зарицький В.В., Кіщенко О.М.**  
*(КТУ, м. Кривий Ріг)*

## **ОБРОБКА РІДКОЇ СТАЛІ 110Г13Л ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ**

На сьогоднішній день марганцовисті сталі широко використовуються у ливарному виробництві. Актуальним завданням перед ливарниками залишається обробка металу, для поліпшення його фізичних властивостей. На сьогоднішній день обробку металу в основному здійснюють у твердому стані такими методами як термічні, механічні, хіміко-термічні, газотермічне напилення, наплавлення, але для цього потрібно додаткове обладнання і великі затрати. Доцільніше і економніше використовувати магнітні, ультразвукові, електродинамічні та інші способи обробки металу в рідкому стані.

Одним з перспективних методів впливу на структуру і властивості ливарних сплавів є обробка розплаву електричним струмом в процесі кристалізації, що представляє собою створення нової технології.

Обробка електричним струмом, таких сталей як 110Г13Л і 110Г18Л при кристалізації дозволяє отримати компактні включення залізовмісних фаз без зміни хімічного складу сплаву і застосування дорогих лігатур.

Вплив електричного струму полягає в подрібненні і зменшенні скупчень залізовмісних фаз і кристалізації їх у більш компактній формі, що в свою чергу призводить до підвищення механічних властивостей сталевих виливків.

Оброблені марганцовисті сталі мають більш високі технологічні властивості, кристалізуються з меншою усадкою, що дозволяє отримувати більш якісні вироби, а це особливо важливо для Криворізького регіону, так як марганцовисті сталі користуються великим попитом в гірничо-металургійній промисловості.

В умовах ливарних цехів була випробувана технологія отримання стержневих виливків з металевого сплаву, яка включала обробку електричним струмом в процесі кристалізації. Механічні властивості сплаву підвищилися: тимчасовий опір розриву на 10...20%, відносне подовження на 40...65%.

Підвищення механічних властивостей є наслідком подрібнення складових мікроструктури. Обробка електричним струмом сприятливо впливає на процес кристалізації розплавів металів при литті, що істотно покращує структуру злитка і його механічні властивості.

**Ю.О. Зелениук\*, В.М. Чорний\*\*, В.А. Шаломеев\*, Е.І. Цивірко\***  
(\*ЗНТУ, м. Запоріжжя, \*\*ЗДМУ, м. Запоріжжя)  
**КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ МЛ5 ЗІ СКАНДІЄМ  
ТА СРІБЛОМ**

В даній роботі вивчали вплив хімічного складу та структурних складових магнієвого сплаву МЛ5 на його швидкість корозії в водних розчинах з різним вмістом хлористого натрію.

Корозійні випробування проводили в водних розчинах з вмістом 0,7; 0,9; 3,0% NaCl при температурі  $36 \pm 1,0$  °С, стабільність якої забезпечувалась ультратермостатом УТ-15. Через 3, 5, 7, 10, 20, 30 діб зразки виймалися з розчину. Визначали середню швидкість корозії зразків для кожного варіанту випробування, використовуючи вимірювання на базі 2...4 зразків.

Металографічні дослідження показали, що структура стандартного сплаву МЛ5 складалася з  $\delta$ -твердого розчину, інтерметалідів ( $\gamma$ -фази  $Mg_{17}Al_{12}$ ) та евтектики типу  $\delta + \gamma(Mg_{17}Al_{12})$ , яка розташовувалася по границях зерен. Зі збільшенням вмісту скандію у сплаві МЛ5 зменшувалася кількість евтектики, а при вмісті 1,0% (мас.) Sc евтектичні виділення практично були відсутні. Мікrorентгеноспектральним аналізом встановили, що при введенні Sc в сплав МЛ5 вміст магнію в інтерметалідах зменшувався з 82 до 33% (мас.), збільшувався вміст алюмінію з 14,8 до 26,92% (мас.), марганцю з 1,8 до 6,5% (мас.), а вміст скандію був 32,72% (мас.). Срібло сприяло деякому зменшенню відстані між осями дендритів другого порядку й зменшенню середнього розміру мікрозерна від 140 мкм до 90 мкм. Із збільшенням вмісту срібла від 0,005 до 1,0% (мас.) відбувалося подрібнення евтектики.

Кількісна оцінка показала, що в зразках із сплаву МЛ5 розміри інтерметалідів не перевищували 20 мкм. При збільшенні вмісту скандію з 0 до 1,0% (мас.) середній розмір інтерметалідів зменшувався з 7,7 до 3,64 мкм. Встановлено, що вже при вмісті 0,05% (мас.) Sc в сплаві доля інтерметалідів з розмірами менше 4 мкм збільшувалася майже в 2 рази, зменшувалася більше ніж в 2 рази доля інтерметалідів з розмірами до 15 мкм, а інтерметаліди з розмірами більше 15 мкм не спостерігалися. З підвищенням концентрації срібла у сплаві спостерігалось скупчення інтерметалідів, але розміри самих інтерметалідів зменшувалися.

Спостерігається одна залежність: при збільшенні в розчині хлористого натрію з 0,7 до 3,0% зростає швидкість корозії сплаву МЛ5 з 85,4 до 472,9 г/(м<sup>2</sup>\*д).

Вплив скандію на корозію зразків сплаву МЛ5 був суттєво різним. З підвищенням вмісту скандію в сплаві МЛ5 з 0 до 0,1% (мас.) швидкість корозії в розчині з 0,9% NaCl зменшувалася з 219,4 до 15,13 г/(м<sup>2</sup>\*д). Подальше зростання вмісту Sc до 1,0% (мас.) приводило до помітного (93,73 г/(м<sup>2</sup>\*д)) збільшення швидкості корозії. Спостерігається певна залежність між хімічним складом, розмірами та кількістю включень інтерметалідної фази в сплаві МЛ5. Так меншу швидкість корозії в розчині з 0,9% NaCl мали зразки сплаву МЛ5 з

0,1% (мас.) Sc, це можна пов'язати з суттєвою зміною хімічного складу інтерметалідів, зменшенням (на 40%) їх середнього розміру за рахунок відсутності включень з розмірами >15 мкм і збільшенням майже в 2 рази доли інтерметалідів з розмірами <4 мкм.

Вплив срібла на корозію зразків сплава МЛ5 був несуттєвий. З підвищенням вмісту срібла в сплаві МЛ5 з 0 до 0,1% (мас.) швидкість корозії в розчині з 0,9% NaCl збільшувалася з 219,4 до 335,4 г/(м<sup>2</sup>\*д). Подальше зростання вмісту Ag до 1,0% (мас.) призводило до незначного підвищення швидкості корозії (246,7 г/(м<sup>2</sup>\*д)) у порівнянні із стандартним сплавом.

На основі досліджень встановили, що із збільшенням вмісту хлористого натрію в водних розчинах з 0,7 до 3,0% (мас.) швидкість корозії зростає, а введення в сплав МЛ5 срібла несуттєво впливає на його корозійну стійкість.

Скандій в сплаві МЛ5 помітно зменшує швидкість корозії, при цьому зміна швидкості корозії пов'язана із зміною складу, розмірів та розподілу по розмірним групам інтерметалідів.

**Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Калашнікова А.Ю.,**

**Беліч О.В., Білий О.П.**

*(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЛІГАТУРИ ДЛЯ ВИЛИВКІВ**

Найбільш сутнім поліпшенням якості та підвищення експлуатаційних властивостей чавунних виливків може бути забезпечено шляхом поліпшення фізико-механічних властивостей їх матеріалу в результаті комплексного легування та модифікування розплаву різними хімічними елементами.

Вибір оптимального складу лігатури здійснювали з використанням методу математичного планування експерименту. Як незалежні змінні були обрані такі: вміст в лігатурі рідкісноземельних металів (РЗМ), кремнію, титану та міді. Для реалізації задачі, що пов'язує показники фізико-механічних властивостей чавуну з вмістом обраних хімічних елементів в лігатурі, використовували планування експерименту за типом 4 x 4 латинського квадрату, досліді в комірках якого ставили в випадковому порядку. Умови їх проведення наведені в табл.1. Обробку експериментальних даних, одержаних в експерименті, та визначення оптимального складу лігатури проводили за допомогою комплексного показника якості- узагальненої функції бажаності D. Якість чавуну оцінювали за 3 параметрами (рис.1):  $y_1$  – частка графітних включень вермикулярної форми у загальній кількості графіту ВГ, %;  $y_2$  – кількість фериту в мікроструктурі чавуну Ф, %;  $y_3$  – модуль пружності чавуну E, МПа. Особливості модифікувального впливу лігатури вивчали в лабораторних умовах на технічних чавунах (табл.2). Чавуни плавили в силітовій печі. Як модифікатори використовували лігатури, одержані сплавленням лігатури з РЗМ на залізокремністій основі з індивідуальними РЗМ, феротитаном, міддю та карбонільним залізом.

Таблиця 1 – Значення факторів при плануванні

Ф а к т о р и		Рівні факторів	
A	Вміст РЗМ в складі лігатури, %	$a_1 - 10$	$a_2 - 20$
B	Вміст титану в складі лігатури, %	$b_1 - 10$	$b_2 - 20$
C	Вміст кремнію в складі лігатури, %	$c_1 - 25$	$c_2 - 15$
D	Вміст міді в складі лігатури, %	$d_1 - 35$	$d_2 - 20$
T	Тип чавуну	$t_1, t_2, t_3, t_4$	

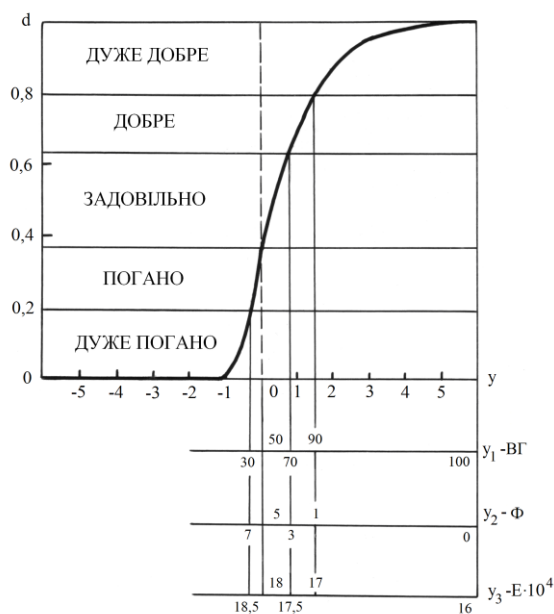


Рис. 1 – Шкала бажаності для узагальненої оцінки якості чавунів

Після розплавлення та доводки за хімічним складом чавун перегрівали до температури  $1450 \pm 10^\circ\text{C}$ , після чого піч відключали та при досягненні необхідної температури чавун модифікували в печі методом примусового занурення лігатури. Після модифікування розплав випускали й заливали форми діаметром 15...25 та висотою 130...150 мм. З одержаних виливків вирізали зразки для хімічного аналізу та визначення фізико-механічних властивостей.

Таблиця 2 – Характеристика базових чавунів

Тип чавуну	Вміст хімічних елементів, мас.%						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
$t_1$	3,99	0,76	0,75	0,06	0,03	-	решта
$t_2$	3,54	0,80	0,74	0,07	0,02	-	«
$t_3$	3,74	0,80	0,38	0,10	0,03	0,03	«
$t_4$	3,85	0,72	0,62	0,07	0,02	-	«

Результати сумарного дисперсійного аналізу для узагальненої функції бажаності підтвердили гіпотезу про незначущість ефектів взаємодії, тобто в

цих умовах адекватність планування за латинським квадратом підтвердилася: головні ефекти не змішані зі взаємодіями.

Проведеним експериментом встановлено, що до оптимальних параметрів лігатури слід віднести вміст РЗМ – 15, кремнію 15, титану 20 та міді 25%, за яких комплексний показник якості чавуну D має максимальне значення 0,92, що у 2,4...2,5 разів перевищує показник D вихідних чавунів (табл.3).

Таблиця 3 – Узагальнені результати експерименту

Номер досліджу	Фактори				Значення параметрів оптимізації			Показник D
	A	B	C	D	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	
					ВГ, %	Ф, %	$\bar{E} \cdot 10^4$ , МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	0	12,0	0,182	0
1	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	90	6,5	0,177	0,47
2	a <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	100	6,0	0,175	0,57
3	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	50	4,0	0,178	0,45
4	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	65	4,0	0,177	0,53
5	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	88	0	0,178	0,72
6	a <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	100	0	0,172	0,90
7	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	55	0	0,179	0,57
8	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	70	0	0,178	0,67
9	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	85	5,5	0,176	0,52
10	a <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	97	5,0	0,176	0,59
11	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	45	3,0	0,179	0,44
12	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>	55	2,5	0,177	0,53
13	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	90	0	0,178	0,72
14	a <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	100	0	0,171	0,92
15	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	35	0	0,180	0,45
16	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	50	0	0,179	0,54

Слепцова А.Б., Лукьяненко И.В., Косячков В.А., Платонов Е.А.  
(НТУУ «КПІ»)

### ХРУПКІСТЬ ВИСОКОКРЕМНІСТОГО ФЕРРИТНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНИМ ГРАФІТОМ

Известно, что с увеличением содержания кремния от 2,0 до 3,5% ударная вязкость высокопрочного чугуна уменьшается с 1000...1400 до 150...200 кДж/м<sup>2</sup>, то есть в 5...7 раз. Не случайно в литых деталях отечественных автомобилей, рассчитанных в том числе на эксплуатацию в условиях бездорожья при минусовых температурах, максимально допустимое содержание кремния в высокопрочном чугуне ограничено 2,3%. Причиной резкого охруп-

чивания чугуна считают искривление атомно-кристаллической решетки феррита избыточным количеством кремния. Однако природная хрупкость отдельных литейных сплавов более достоверно объясняется наличием в их металлической матрице твердой хрупкой фазы типа химического соединения или неметаллического включения неблагоприятной остроугольной конфигурации. Такой фазой в хрупком сером чугуне является включение пластинчатого графита, в белом чугуне – включение карбида железа, в силумине – включение игольчатого кремния.

В лаборатории рентгеноструктурного анализа ИФФ НТУУ «КПИ» энергодисперсионным спектральным анализом методом отраженных электронов в двухфазной графито-ферритной структуре чугуна с шаровидным графитом разрушенной отливки "Кронштейн амортизации грузового автомобиля" с 3,2% кремния выявлена неизвестная ранее третья фаза в виде двусторонне заостренных иголок длиной 0,1...0,5 мм, каждая из которых пронзает сразу несколько ферритных зерен (рис. 1).

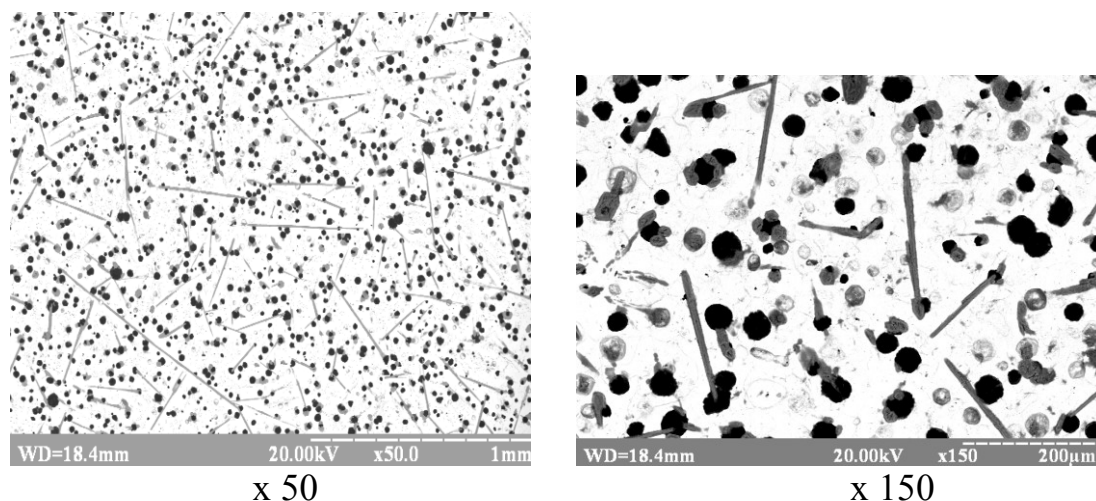


Рис. 1 – Включения игольчатой формы в структуре высококремнистого ферритного чугуна с шаровидным графитом

Волновым энергодисперсионным анализом с количественным расчетом методом ZAF-коррекции установлено, что такая фаза имеет зонально-ликвационное содержание кремния 8...11% и, согласно диаграмме состояния "железо-кремний", по составу и свойствам приближена к интерметаллическому силициду железа  $Fe_3Si$ .

Тонкие заостренные торцы твердой хрупкой силицидной фазы в виде хаотически сориентированных в металлической матрице иголок во время ударных нагрузок выступают как концентраторы пиковых напряжений. В процессе форсированного экстремального режима эксплуатации, особенно при минусовых температурах, подобная фаза является наиболее достоверной причиной зарождения и потенциальным маршрутом последующего распространения аварийной трещины. При этом вязкий механизм разрушения детали заменяется хрупким. Высокая ударная вязкость низкокремнистого чугуна с шаро-



видним графітом об'ясняється відсутністю в ферриті ликваційної силіцидної фази.

**Кужель Д.Г, Ямшинський М.М., Завертайло М.В.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ МЕТОДОМ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ**

Одним із напрямків розвитку машинобудування на сучасному етапі є збільшення довговічності надійної експлуатації машин і механізмів, особливо в складних умовах.

Підвищення експлуатаційних характеристик литих деталей можна досягти керуванням процесу структуроутворення металу поверхневого шару, оскільки руйнування литих деталей починається з поверхні.

Існуючі методи і технології, що направлені на підвищення стійкості зношуваних поверхонь деталей, не завжди дають можливість вирішити цю проблему як економічно, так і технологічно. Одним із способів підвищення зносостійкості литої деталі є поверхневе легування вилівка безпосередньо в ливарній формі. Процес легування здійснюють шляхом нанесення на поверхню форми або стрижня пасти, наповнювачем якої є легувальні компоненти. Під час взаємодії з металом, який заливається у форму, вони утворюють легований поверхневий шар із необхідними спеціальними властивостями.

Найбільш перспективними легувальними елементами, які сприяють підвищенню зносостійкості сплавів на основі заліза, є хром, марганець, титан і бор (вводили у вигляді феросплавів чи окремих елементів).

На стрижні наносили легувальне покриття певного складу товщини 3, 4, 5, 6, 7 мм. На кожний стрижень наносили по 5 різних покриттів за складом або товщиною.

Поверхневе легування здійснювали за такою технологією. Для одержання легувального покриття однакової товщини використовували металеві рамки певних розмірів. Гранулометричний склад наповнювачів складав 0,1; 0,2; 0,315; 0,4; 0,63 мм. Як зв'язувальний компонент використовували рідке скло густиною 1,3 г/см<sup>3</sup>. Кількість рідкого скла змінювали залежно від фракції компонентів: чим менша фракція, тим більше витрачалося рідкого скла (від 3 до 6%).

Установлено, що найбільшу товщину зносостійкого легованого шару можна одержати після використання високовуглецевого феромарганцю ФМн78А. При товщині легувального покриття 7 мм товщина легованого шару досягає 12 мм. Це можна пояснити низькою температурою плавлення покриття, що призводить практично до повного його використання.

Такий же характер зміни товщини легованого шару в залежності від товщини легувального покриття зберігається і для низьковуглецевого феромарганцю. Проте товщина легованого шару дещо зменшується, хоча залишається досить високою (9,5 мм при товщині покриття 7 мм). Зменшення товщини ле-

гованого шару можна пояснити підвищенням температури плавлення низьковуглецевого феромарганцю.

Підвищення гранулометричного складу легувального покриття призводить до зменшення товщини легованого шару для всіх досліджених компонентів, хоча найкращі результати одержані внаслідок використання високовуглецевого феромарганцю ФМн78А. Дещо гірші результати одержані при використанні чистого марганцю Мн965 і найменша товщина легованого шару має місце після використання низьковуглецевого феромарганцю ФМн1,5.

Для всіх компонентів очевидне їх розплавлення під дією температури розплаву, проте тепловмісту рідкого металу не вистачає для повного розплавлення легувального покриття на основі більш крупних фракцій. Про це свідчить і візуальний аналіз одержаних зразків після видалення їх із форми.

**Шаломеев В.А., Цивирко Э.И., Зеленюк Ю.А.\* Лукинов В.В.\*\***

*(\*ЗНТУ, м. Запоріжжя, \*\*ВАТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя)*

### **ГАЗОИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ ЛИТЬЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Одним из важных условий получения высококачественного магниевого литья является получение металла повышенной плотности без микропористости и рыхлот. Поэтому ряд ответственных отливок из магниевого сплава проходит контроль на гидростатическое испытание, в результате которого часть из них отбраковывают. С целью повышения плотности металла применяли газоизостатическое прессование (ГИП) для отливок из сплавов МЛ5 и МЛ10.

ГИП опытных отливок из сплавов МЛ5 и МЛ10 проводили в газостате модели «QUINTUS» при температуре  $395^{\pm 5}$  °С, давлении 9,2 МПа в течении 1,5 часа. Из отливок до и после газостатирования вырезали образцы для определения физико-механических свойств и жаропрочности. Испытания на длительную прочность проводили при нагрузке 80 МПа и температурах: 150 °С для сплава МЛ5 и 270 °С для сплава МЛ10.

Металлографический анализ показал, что ГИП не влияло на размеры макро- и микрозерна отливок из магниевого сплава. Однако при этом происходило уплотнение металла и микропоры закрывались. ГИП способствовало упрочнению металла поверхностных слоев отливок за счет их деформации. Микротвердость металла в поверхностной зоне отливок была значительно выше ее центральной части (табл. 1).

Механические свойства исследуемых сплавов после ГИП показали улучшение их физико-механических характеристик и жаропрочности (см. табл. 1).

ГИП тонкостенных отливок из сплавов МЛ5 и МЛ10, содержащих усадочную пористость, позволило устранить ее и получить металл с механическими и эксплуатационными свойствами, удовлетворяющий требованиям нормативно-технической документации. Таким образом, газоизостатическое прес-

сование является эффективной технологией для устранения таких дефектов в отливках из магниевых сплавов, как микропористость и усадочные раковины, что позволяет уменьшить процент брака и повысить выход годного на производстве.

Таблица 1 – Физико-механические свойства и жаропрочность термообработанных образцов из магниевых сплавов до и после ГИП

Вариант	Свойства сплавов									
	МЛ5					МЛ10				
	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	HV <sub>матр</sub> , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\tau_{50}^{10}$ , час	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	HV <sub>матр</sub> , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\tau_{70}^{10}$ , час
без ГИП	228,0	3,6	$\frac{1200,8}{1065,7}$	1,562	141,1	235,0	3,6	$\frac{1290,5}{1261,0}$	1,754	47,5
с ГИП	248,4	4,2	$\frac{1396,7}{1325,6}$	1,798	158,4	262,1	4,8	$\frac{1426,6}{1354,3}$	1,881	61,4

Примечание: в числителе - край образца, в знаменателе - центр.

**Лысенко Т.В., Становский А.Л., Желдубовский Д.А.**  
(ОНПУ, м. Одеса)

### ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ СИСТЕМЫ «ОТЛИВКА – ФОРМА»

Наличие, как минимум, двух синхронизируемых подсистем позволяет рассматривать остывающую в форме отливку с точки зрения теории динамических систем и построить ее фазовый портрет.

Построение начинается с получения теоретических или эмпирических соотношений, связывающих фазовые переменные  $T$  и  $P$  со временем  $\tau$ :

$$T = f_1(\tau); \quad (1)$$

$$P = f_2(\tau); \quad (2)$$

при начальных и граничных условиях:

$$f_1(0) = T_0; \quad f_2(0) = P_0; \quad (3)$$

$$0 \leq \tau \leq \tau_k; \quad T_0 \leq T \leq T_{ср}; \quad P_0 \leq P \leq P_{ср}. \quad (4)$$

Выразим из (2)  $\tau$  через  $P$ :

$$\tau = f_2^{-1}(P) \quad (5)$$

и, подставляя (5) в (1), получим в итоге выражения для фазовых траекторий динамической системы «отливка – песчаная форма» в координатах «температура отливки – давление в форме»:

$$T = f_1 \left[ f_2^{-1}(P) \right]. \quad (6)$$

Все фазовые траектории, возможные в пределах ограничений, входящих

в (4), составляют фазовый портрет системы в указанных координатах (рис. 1).

На рисунке точка  $S$  соответствует синхронизации событий  $T_S$  и  $P_S$  в подсистемах на пути динамической системы от точки  $(T_0; P_0)$  из области начальных условий к естественному аттрактору – точке  $(T_{cp}; P_{cp})$ , соответствующей температуре и давлению окружающей среды. Как видно из рисунка, траектория 1 фазового портрета системы не проходит через точку  $S$ , а значит, синхронизация событий  $T_S$  и  $P_S$  не произойдет. Если признано, что такая синхронизация необходима для качества отливок, то целью управления становится изменение траектории 1 на траекторию 2 через точку  $S$ .

В этом случае проблема сводится к возможности математического прогнозирования таких событий с помощью уравнений (1) и (2), что может представлять значительные трудности по разным причинам.

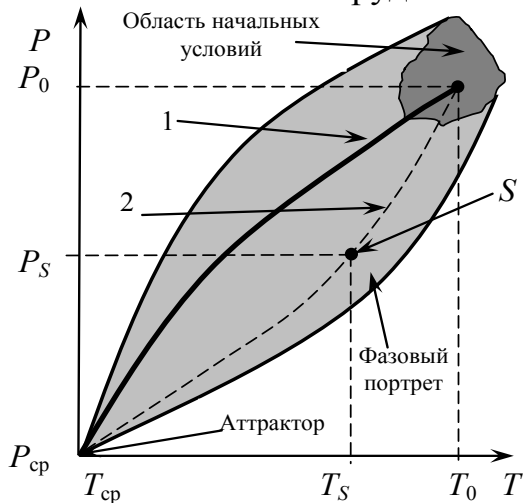


Рис. 1 – Фазовый портрет динамической системы «отливка – песчаная форма»

Одна из таких причин – так называемые «составные» события, когда имеет место их последовательная цепочка: первое рассчитывается аналитически, чаще всего, по уравнениям тепло- и массопереноса, а последнее проистекает из предыдущих, причем эти переходы имеют иную природу и описываются совершенно другими математическими моделями. Примером составного события может служить последовательность: <достижение максимального давления в форме на границе с жидкой отливкой> – <всплытие газового пузыря>.

При попытке постановки и решения задач десинхронизации и без того сложная математическая модель (6) еще более усложняется. Действительно, (1) и (2) приобретают вид:

$$T = f_1[\tau - \alpha(T)]; \quad (7)$$

$$P = f_2[\tau - \beta(P)]; \quad (8)$$

при начальных и граничных условиях:

$$f_1(0) = T_0; \quad f_2(0) = P_0 \quad (9)$$

$$0 \leq \tau \leq \tau_k; \quad T_0 \leq T \leq T_{cp}; \quad P_0 \leq P \leq P_{cp}; \quad 0 \leq \alpha(T) \leq \alpha_{max}; \quad 0 \leq \beta(P) \leq \beta_{max}, \quad (10)$$

где  $\alpha(T)$  – время, прошедшее между событиями в первой подсистеме;  $\beta(P)$  – время, прошедшее между предварительным и основным событиями во второй подсистеме. После преобразования  $\tau = f_2^{-1}(P) + \nu(T)$  имеем:

$$T = f_1^{-1}[f_2^{-1}(P) + \nu(T) - \beta(P)]. \quad (11)$$

Функции  $f_1(\cdot)$ ,  $\alpha(\cdot)$  и  $\beta(\cdot)$  и  $f_2^{-1}(\cdot)$  весьма сложны и, как правило, представляют собой дифференциальные уравнения в частных производных второй степени, причем обращенная функция  $f_2^{-1}(\cdot)$  не может быть выражена явно.

**Малинов В.Л.**

*(ГВУЗ «ПГТУ», м. Мариуполь)*

## **СТРУКТУРА И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО НОВЫМИ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМИ МАРГАНЦЕВЫМИ И ХРОМОМАРГАНЦЕВЫМИ ПОРОШКОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ**

Разработаны новые малоуглеродистые экономнолегированные марганцевые и хромомарганцевые наплавочные материалы, обеспечивающие получение в наплавленном металле мартенситной или мартенситно-аустенитной структуры, которые могут найти применение в промышленности для случаев, когда наплавленный металл должен иметь высокий уровень прочностных характеристик при достаточной пластичности.

Объектом исследования являлся наплавленный металл, содержащий от 4 до 14% марганца, а при 14% хрома – от 2 до 6% марганца. После наплавки проводился высокий отпуск, обычно применяемый для снятия внутренних напряжений, а также с учетом химического состава наплавленного металла, нагрев в межкритический интервал температур, что позволяло варьировать количество и стабильность получаемого в структуре аустенита. В работе определялись механические свойства и абразивная износостойкость по методу Бринелля-Хаурта.

Установлено, что при образовании после термообработки метастабильного аустенита (до 40 %) в наплавленном металле с исходной мартенситной структурой, несмотря на снижение твердости, абразивная износостойкость возрастает. Одновременно увеличиваются временное сопротивление, пластичность и ударная вязкость.

Предложен способ комбинированного упрочнения поверхности деталей, предусматривающий сочетание наплавки, химико-термической и термической обработок. Этот способ является перспективным направлением повышения долговечности деталей машин и оборудования, исключая при этом возникновение трещин в наплавленном металле. Для повышения абразивной износостойкости осуществляли цементацию наплавленного металла, обеспечивающую получение в нем высокоуглеродистого метастабильного аустенита, армированного карбидами. В ряде случаев, наряду с ними образовывался мартенсит.

Исследовалось влияние нормализации с различных температур, а также высокого отпуска, позволяющих управлять количественным соотношением структурных составляющих и стабильностью аустенита. Повышение температуры нормализации в диапазоне от 850 до 1050 °С приводит к более полному растворению карбидов в аустените и, соответственно, увеличению его стабильности. Отпуск при 620 °С, вызывает выделение карбидов и, как следствие,

дестабилизацию аустенита, активизирующую динамическое мартенситное превращение при изнашивании.

Наплавленный металл, содержащий 10...14 % марганца, имеющий повышенную стабильность аустенита после нормализации, наиболее высокой абразивной износостойкостью обладает после цементации, нормализации от 850 °С и отпуска при 620°С. В наплавленном металле содержащем 4...7% марганца, после цементации целесообразно проводить только нормализацию от 950...1050°С. При этом, чем меньше марганца в наплавленном металле, тем выше должна быть температура нагрева при проведении нормализации после цементации. Это обусловлено необходимостью более полно растворить карбиды, и за счет этого увеличить количество метастабильного аустенита. Аналогичные данные получены на хромомарганцевом наплавленном металле. Его износостойкость выше, чем у марганцовистого, особенно после цементации из-за большого количества карбидов хрома, армирующих метастабильный аустенит.

Управление количественным соотношением составляющих в структуре и кинетикой деформационного динамического мартенситного превращения применительно к конкретным условиям нагружения обеспечивает существенное повышение износостойкости наплавленного металла. Для обеспечения высокой абразивной износостойкости наплавленного металла наряду с мартенситом и карбидами необходимо получать повышенное количество метастабильного аустенита (40...50 %), интенсивно превращающегося при изнашивании в мартенсит деформации.

**Малинов Л.С., Малинова Д.В.**

*(ГВУЗ, «ПГТУ», м. Мариуполь)*

## **ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПОЛУЧЕНИЕМ В НИХ БЕЙНИТНО-АУСТЕНИТНОЙ СТРУКТУРЫ**

Важной научной и практической задачей ресурсосбережения является повышение механических свойств и износостойкости сталей и чугунов. Одним из вариантов реализации рассматриваемого направления является получение в сталях и чугунах структуры нижнего бейнита и остаточного метастабильного аустенита. Это может быть реализовано применением изотермической или прерванной закалки. В данной работе получение бейнитно-аустенитной структуры осуществлялось нетрадиционным способом. Суть его заключалась в том, что после нагрева, обеспечивающего получение аустенита, охлаждение до заданной температуры в бейнитном интервале проводилось в воде для предотвращения образования феррито-карбидной смеси. Изотермическая выдержка осуществлялась в печи. Прерванная закалка, включающая охлаждение в воде на первом этапе, предусматривала последующее охлаждение в интервале промежуточного превращения. В ряде случаев нагрев целесообразно проводить в

межкритический интервал (МКИ) температур. Ранее такой нагрев при проведении изотермической закалки стали 38ГС в расплаве солей применен А.А. Петрунчиковым с сотрудниками. Нагрев в МКИ доэвтектоидных сталей позволяет получить после изотермической закалки многофазную структуру, состоящую из феррита, бейнита, остаточного аустенита и нерастворившихся карбидов. Остаточный аустенит обогащен углеродом и другими элементами в результате их перераспределения в процессе выдержки между  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фазами, а также частичного растворения карбидов в последней. В некоторых случаях после нагрева и выдержки в МКИ проводилась кратковременная аустенитизация, цель которой исключить образование в структуре закаленной стали феррита, снижающего прочностные свойства сталей, а также сохранить неоднородность, полученную в МКИ. Изотермическая закалка по предложенному способу проводилась также из аустенитного состояния. Объектом исследования служили стали 30ХГСА, 38ХС, 60С2, 60С2ХФА. Для всех исследованных сталей определены общие закономерности формирования структуры и ее влияния на свойства. После выбранных для каждой стали режимов термообработки может быть достигнуто хорошее сочетание механических свойств. Например, у 38ХС после изотермической закалки из МКИ получен следующий уровень свойств:  $\sigma_{0,2} = 1070$  МПа,  $\sigma_B = 1270$  МПа,  $\delta = 21$  %,  $KCU = 0,96$  МДж/м<sup>2</sup>. Этому соответствует образование в структуре  $\sim 26$  % остаточного аустенита. После испытаний на растяжение в зоне равномерного удлинения его количество уменьшилось до 18 %, что свидетельствует о постепенном образовании мартенсита деформации. Это обеспечивает не только упрочнение, но и релаксацию микронапряжений. Аналогичная закономерность обнаруживается и в сталях 30ХГСА, 60С2 и 60С2ХФА, в которых при временном сопротивлении  $\sigma_B > 1000$  МПа достигнуто удлинение ( $\delta = 16...25$  %). У 60С2 аналогичные свойства получены после изотермической закалки из аустенитной области (870 °С). В случае большого удлинения ( $\delta \geq 14$  %) целесообразно для повышения прочностных свойств применять холодную пластическую деформацию ( $\sim 5$  %). Высокий уровень прочностных свойств при достаточной пластичности получен в изученных сталях в том случае, когда после выдержки в МКИ перед изотермической закалкой проводилась кратковременная аустенитизация при 920...950 °С. Уровень механических свойств, полученных изотермической закалкой с нагревом в МКИ, выше, чем у хромо-никель-молибденовых после улучшения.

*Хороший комплекс свойств может быть получен прерванной закалкой после предварительного нагрева в МКИ и последующей кратковременной аустенитизации. В стали 38ХС после такой обработки свойства таковы:  $\sigma_{0,2} = 1295$  МПа,  $\sigma_B = 1585$  МПа,  $\delta = 12$  %,  $KCU = 0,76$  МДж/м<sup>2</sup>.*

*Приведенные данные показывают эффективность получения бейнитно-аустенитной структуры для обеспечения хорошего сочетания механических свойств исследованных сталей.*

**Малинов Л.С.**

*(ГВУЗ, «ПГТУ», м. Мариуполь)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ОБРАБОТОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ МАКРОНЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ В СПЛАВАХ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОВЫШЕНИИ ИХ СВОЙСТВ**

Известно, что армированные материалы, обладают высокой конструкционной прочностью, в связи с чем находят все более широкое применение в технике. Их создают соединением разнородных металлов и сплавов способами литья, прокатки, сварки, наплавки и др. Автором еще в 70-е годы прошлого века предложено и реализовано с сотрудниками создание регулярной макронеоднородной структуры за счет использования дифференцированных обработок. Принцип их проведения заключается в сочетании общего (объемного) и локального (местного) воздействия на материал. Последнее возможно тогда, когда механические, тепловые, магнитные и другие поля распределяются не равномерно по объему изделия, а локализируются в его отдельных участках или слоях. В результате фазовые и структурные превращения протекают не одновременно, а в разной последовательности и степени. Задачи общего и локального воздействий различны. Если в результате первого получают структуры, обеспечивающие невысокую твердость, прочность, но повышенную пластичность, то при втором – высокую твердость, прочность, и наоборот. В том случае, когда полученная в исходном состоянии структура (литая, горячедеформированная и т.п.) удовлетворяет предъявляемым требованиям, проводится лишь локальное (местное) воздействие на материал. Дифференцированная обработка может включать механическое, термическое, магнитное и другие воздействия, а также их сочетания. Локальная обработка осуществляется лазерным, электронным лучами, электроконтактным способом, деформированием, изменением химического состава заданных участков, дискретным нанесением покрытий и др. При локальном воздействии в сплавах могут быть получены различные виды регулярной макронеоднородной структуры: линейчатая, точечная, сетчатая, слоистая.

Если в результате общей (объемной) обработки стремятся во всем объеме материала обеспечить невысокую твердость и повышенную пластичность, то получают ферритную, ферритно-перлитную, ферритно-мартенситную, ферритно-аустенитную, сорбитную (отпуска), мартенситную с низким содержанием углерода, мартенситно-ферритную, мартенситно-аустенитную, аустенитную, аустенитно-ферритную и аустенитно-мартенситную структуры. Обработками, которые для этого используются, могут быть отжиг, нормализация, закалка (для получения в структуре преимущественно низкоуглеродистого мартен-



сита или/и аустенита). Последующее локальное (местное) воздействие должно обеспечить получение в заданных участках или слоях следующие структуры: деформированный феррит или аустенит с высокой плотностью дислокаций, углеродсодержащий мартенсит, карбиды, нитриды, бориды и т.п., состаренные низкоуглеродистые мартенсит или аустенит.

При необходимости получения во всем объеме материала высокой твердости и прочности следует предварительно проводить обработки, обеспечивающие высокую твердость и получение соответствующих структур. Особенностью локальных (местных) обработок в этом случае является получение мягких пластичных структур (феррита, аустенита, низкоуглеродистого мартенсита). С помощью химико-термической обработки можно изменять химический состав сплава в заданных участках и получать структуры, обеспечивающие сочетание прочности и пластичности. Это же позволяет обеспечить расплавление заданных участков с дополнительным их легированием или, напротив, с уменьшением степени легирования. Создание регулярной макронеоднородной структуры, обеспечивающей чередование прочных и пластичных участков, позволяет создавать естественно-армированные материалы с высокой конструкционной прочностью. Могут быть получены участки с различными физическими свойствами.

**Савельев В.С.<sup>1</sup>, Цоновский С.И.<sup>1</sup>, Бобровский В.К.<sup>1</sup>, Палкин В.Б.<sup>1</sup>  
Федоров Г.Е.<sup>2</sup>, Платонов Е.А.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> (СЕ ПАО «Донбассэнерго» «Электроремонт»), <sup>2</sup> (НТУУ «КПИ»)  
ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ НОВЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ  
СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ НА СЕ «ЭЛЕКТРОРЕМОНТ»**

Литейный цех СЕ ПАО «Донбассэнерго» «Электроремонт» совместно с ОНИЛ износостойких и жаростойких сплавов Минэнерго Украины, которая входит в состав кафедры «Литейное производство черных и цветных металлов» НТУУ «КПИ», на протяжении нескольких десятков лет осуществляет совместные работы по разработке и промышленному освоению новых специальных сплавов и технологических процессов изготовления из них литых деталей для теплоэнергетики.

Разработано и внедрено ряд высокожаростойких среднеуглеродистых хромоалюминиевых сталей (30X25Ю3ТЛц, 40X30Ю2СТЛ, 30X25Ю3ТБЛц) для работы в условиях воздействия агрессивных газовых сред до температуры 1300°C. Стали не содержат никель, кобальт и другие дорогие и дефицитные легирующие элементы. Их химический состав корректируется в зависимости от конкретных условий и необходимого срока эксплуатации литой детали, а также конструктивных особенностей отливки. Отработаны технологические

процессы выплавки сталей в дуговых электроплавильных печах и технологии изготовления отливок различных Сложности, массы и габаритных размеров. Новые литейные стали позволяют в несколько раз увеличить надежность и долговечность жаростойких деталей.

Созданы и успешно опробованы в производстве высокоэффективные износостойкие чугуны (ИЧ280Х28ГТФ, ИЧ290Х19ГЗТР) не содержащие никель и другие дорогие элементы. Сплавы предназначены для изготовления деталей дробильно-размольных, золоудаляющих агрегатов, багерных насосов различного назначения. Использование новых сплавов для изготовления отливок значительно повышает надежность и экономичность теплоэнергетического оборудования.

Постоянно проводится работа по совершенствованию и оптимизации технологии выплавки и разливки стали 110Г13Л с целью минимизации вредного влияния фосфора, повышения качества металла и увеличения износостойкости бронефутеровочных плит в условиях интенсивного ударно-абразивного износа. С целью улучшения работоспособности брони углеразмольных мельниц ТЭС в условиях повышенной абразивности углей была разработана и широко опробована сталь 140Г14Х2ТРЛ. Отливки из этой стали показали высокую износостойкость и, в некоторых случаях, могут успешно заменить традиционную сталь 110Г13Л.

Многолетнее тесное научно-производственное взаимодействие наших организаций показывает полезность и перспективность такой работы при создании и освоении новых сплавов и технологий в литейном производстве. Польза такого сотрудничества, как для науки, так и для производства, очевидна.

**Малинов Л.С.**

*(ГВУЗ «ЛГТУ», м. Мариуполь)*

### **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И УПРОЧНЯЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОЗДАННЫЕ НА ОСНОВЕ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГО-ФАЗНЫХ СТРУКТУР С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ**

Одним из важнейших направлений в материаловедении XXI в. является создание материалов и технологий, обеспечивающих получение метастабильных состояний и их самоорганизацию, что позволяет разработать так называемые «интеллектуальные материалы», способные в процессе эксплуатации самовосстанавливаться, саморегулироваться, адаптироваться к внешним воздействиям. Начало этому направлению положено работами И.Н. Богачева и Р.И. Минца еще в 50-х годах прошлого века. Ими была высказана и реализована идея получения в сплавах метастабильной структуры, способной претерпевать динамические деформационные мартенситные превращения. Существенно расширить использование

идей И.Н. Богачева, Р.И. Минца позволяет научно-прикладное направление, предложенное и развиваемое автором, суть которого заключается в получении в сплавах многофазных структур с метастабильным аустенитом, представляющих собой многовариантные сочетания в различных количественных соотношениях мартенсита, нижнего бейнита, феррита, карбидов и других упрочняющих фаз с метастабильным аустенитом. При нагружении в процессе испытаний механических свойств и эксплуатации протекают также различные структурные и фазовые превращения: изменение плотности дислокаций, фрагментация зерен, возникновение сверхмелкой и нанокристаллической структур, образование в ряде сплавов дефектов упаковки,  $\epsilon$ -фазы, протекание не только прямых, но и обратных мартенситных и карбидных превращений, двойникования, динамического старения мартенсита, бейнита и аустенита. В зависимости от химического состава сталей, чугунов, а также их исходной структуры и фазового состава могут протекать не все, а лишь некоторые из указанных превращений. Автором впервые были высказаны положения о том, что на развитие мартенситных превращений, протекающих при нагружении, расходуется значительная часть энергии внешнего воздействия и, соответственно, меньшая доля идет на разрушение. Кроме того, при протекании этих превращений происходит не только упрочнение сплавов, но и релаксация микронапряжений. Во многих последующих работах автора с сотрудниками показана необходимость управлять деформационными мартенситными превращениями с целью их оптимизации для достижения наиболее высокого уровня свойств. Указанные выше положения должны быть применимы не только к мартенситным, но и другим превращениям, протекающим при нагружении. На основе развиваемых представлений разработаны инновационные материалы с многофазной метастабильной структурой различных структурных классов. Они отличаются экономичностью легирования, повышенным уровнем механических, служебных и технологических свойств по сравнению с более дорогими аналогами.

Разработаны упрочняющие технологии, направленные на получение в сплавах многофазных структур с метастабильным аустенитом, управление их количественным соотношением и превращениями, протекающими при нагружении. Получение многофазных структур с метастабильным аустенитом обеспечивают ступенчатая, изотермическая и прерванная закалки, проводимые по определенным режимам, в том числе, из межкритического интервала температур.

Большие возможности открывают комбинированные деформационно-термические, термо-деформационные, химико-термические обработки, которые позволяют получить высокий уровень прочностных, пластических свойств и ударной вязкости.

Установлено, что важную роль в повышении износостойкости сплавов, подвергнутых лазерной, электронно-лучевой и плазменной обработкам, играет метастабильный остаточный аустенит. В том случае, когда в структуре сталей его количество составляет 40...50 %, и он интенсивно превращался в мартенсит при абразивном воздействии, износостойкость возросла в  $\sim 1,3 \dots 1,5$  раза.

**Малинов Л.С., Харлашкин В. А.**

*(ГВУЗ «ПГТУ», м. Мариуполь)*

## **ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ ЦЕМЕНТУЕМОЙ СТАЛИ 10Г12 ЗА СЧЕТ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТОК, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА В СТРУКТУРЕ**

На кафедре «Материаловедения» ПГТУ проводятся исследования по созданию нового класса малоуглеродистых цементируемых марганцевых (2...16%) сталей. В ряде случаев они могут стать альтернативой высокоуглеродистым аустенитным сталям типа 110Г13Л, 120Г10ФТЛ, 130Г7ТЛ, применяемым в промышленности.

Принципиальной особенностью новых сталей, отличающих их от известных цементируемых, является то, что в их поверхностном слое получают не мартенсит отпуска и карбиды, обеспечивающие высокую твердость, как это обычно принято, а метастабильный аустенит, армируемый карбидами, способный к управляемой самотрансформации при нагружении. За счет режимов цементации и последующей термообработки управляют количеством и стабильностью аустенита, оптимизируя их применительно к конкретным условиям нагружения.

Как известно, сталь 10Г12 достаточно хорошо обрабатывается резанием после высокого отпуска (твердость 35 HRC). В нормализованном состоянии она имеет трехфазную  $\alpha'+\varepsilon+\gamma$  структуру и сравнительно низкие характеристики механических свойств ( $\sigma_{0,2}=780$  МПа,  $\sigma_B=1500$  МПа,  $\delta=7$  %,  $\Psi=9$  %,  $KCU=0,25$  МДж/м<sup>2</sup>). Это обусловлено увеличением под влиянием марганца доли ковалентной составляющей межатомной связи и очень низкой стабильностью аустенита по отношению к динамическому деформационному мартенситному превращению.

Для повышения механических свойств проводили ступенчатую закалку с охлаждением в воде (время охлаждения 1 с) от температур 700, 800 и 900 °С и последующей изотермической выдержкой при 300 и 400 °С. Время выдержки варьировали от 30 до 120 мин.

В результате исследования влияния режимов термической обработки на свойства стали 10Г12 экспериментально установлено, что оптимальное количество и стабильность аустенита по отношению к динамическому деформационному мартенситному превращению и, как следствие, высокий комплекс механических свойств стали получены после ступенчатой закалки от 800 °С, вода 1 с и последующей изотермической выдержкой при 400 °С, 60 мин ( $\sigma_{0,2}=1030$  МПа,  $\sigma_B=1400$  МПа,  $\delta=14$  %,  $\Psi=37$  %,  $KCU=0,65$  МДж/м<sup>2</sup>), либо 300 °С, 120 мин ( $\sigma_{0,2}=1050$  МПа,  $\sigma_B=1280$  МПа,  $\delta=10$  %,  $\Psi=50$  %,  $KCU=0,57$  МДж/м<sup>2</sup>).

Образцы стали 10Г12 подвергали цементации в твердом карбюризаторе при 930 °С в течении 8 ч. Температуру аустенитизации варьировали от 850 до

950 °С, температуры отпуска составляли 200, 550 и 650 °С, время выдержки 1 ч.

Абразивную износостойкость определяли по методу Брюнелля-Хаурта, абразивом служил песок с размером частиц  $\varnothing 0,3 \dots 0,5$  мм. Ударно-абразивную износостойкость определяли на установке, в которой закрепленные на вращающемся диске образцы соударялись со стальной дробью  $\varnothing 0,8$  мм. Эталонном служила отожженная сталь 45.

Установлено, что для повышения абразивной износостойкости исследуемой стали следует проводить цементацию и последующую закалку от 850 °С с низким отпуском, обеспечивающим получение в поверхностном слое структуры метастабильного аустенита, армированного карбидами, интенсивно превращающегося в мартенсит деформации при воздействии абразивных частиц. В результате чего абразивная износостойкость возрастает в 1,8 раза.

В случае ударно-абразивного изнашивания большой интенсивности следует получать в поверхностном слое аустенит повышенной степени стабильности, по сравнению к требуемой при абразивном воздействии, что обеспечивает цементация и последующая закалка от 950 °С с низким отпуском. Износостойкость стали повышается в 2,8 раза.

**Бойко В.В.\*\* , Томас Линк\* , Михаленков К.В.\*\***

**(\*ТУ Берлін, Німеччина, \*\*НТУУ «КПІ», Україна)**

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Mg-Si**

Существующие тенденции производства отливок из алюминиевых сплавов позволяют выделить три основных направления развития этой группы материалов. Во-первых, это усовершенствование технологий литья и получения деталей методами, в которых задействовано полужидкое состояние сплавов. Во-вторых, это разработка новых эффективных методов обработки алюминиевых расплавов с целью их рафинирования. Третье направление включает себя усовершенствование состава уже существующих сплавов, а также поиск новых систем легирования.

Наиболее существенным достижением в области разработки новых сплавов можно считать создание теоретических основ и внедрение в практику получения фасонных отливок алюминиевых сплавов, содержащих принципиально новое сочетание элементов. Вместо композиции Al-Si-Mg (сплавы типа АК7, А356), составы новых сплавов смещены в область богатую магнием – система Al-Mg-Si. До недавнего времени сплавы этой группы практически не использовались для получения отливок, а кремний рассматривался как вредная примесь высокомагниевого сплава.

Принципиальными преимуществами литейных сплавов системы Al-Mg-Si являются:

- сравнительно высокое содержание магния в составе твердого раствора (экспериментально измеренное содержание 2,8...3,0 ат.%)
- низкое содержание кремния в составе твердого раствора с алюминием (измеренное содержание 0,15...0,22 ат.%), что дает возможность насыщать легирующий комплекс сплава дополнительно переходными элементами;
- высокая объемная доля эвтектики  $Mg_2Si$  (10...15 об.%), что положительно отражается на жидкотекучести.

Исследование структуры эвтектических сплавов Al–Mg–Si в исходном состоянии, и с добавками меди, цинка, циркония, хрома, скандия и титана показало, что одновременно с эвтектикой (Al)+(Mg<sub>2</sub>Si) в фазовый состав сплавов входят базовые кристаллы Mg<sub>2</sub>Si со средним размером 10...20 мкм. Установлено, что образование этих кристаллов происходит по гетерогенному механизму с участием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Введение в сплав 0,06 ат.% Ti или 0,37 ат.% В способствует измельчению литого зерна сплава. Наиболее эффективным зерноизмельчителем является совместное введение Sc+Zr. Добавка этого комплекса позволила получить полностью недендритную структуру сплава.

Термическая обработка сплавов с добавками Cu, Zn и Sc+Zr приводит к формированию в структуре наноразмерных выделений вторичных фаз. При введении меди в поле твердого раствора наблюдаются иглообразные выделения θ-фазы (CuAl<sub>2</sub>), которые увеличиваются при длительных выдержках в условиях повышенных температур. В то же время в сплавах, легированных Sc+Zr, происходит формирование выделений кубической формы со средним размером 15...20 нм, который не изменяется в процессе выдержки при 573 К в течении 120 часов. Разработанные сплавы были опробованы в условиях действующего производства при литье под давлением отливок корпуса подушки безопасности автомобиля. Установлена принципиальная возможность изготовления деталей из сплавов системы Al–Mg–Si и показано, что качество деталей одинаково с аналогичными отливками из традиционных Al–Si–Mg.

**Федоров Г.Є., Мошковський Д.В.**  
(НТУУ «КПІ»)

### **МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗНОСОСТІЙКИХ БЛИХ ЧАВУНІВ ДЛЯ РОБОТИ В ГІДРОАБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Комплексний підхід до визначення властивостей ливарних сплавів дає можливість одержати достовірні результати під час наукових досліджень та суттєво скоротити кількість матеріалів, ресурсів, часу тощо. У роботі запропоновані сучасні багаторазово апробовані методики визначення ливарних і механічних властивостей сплавів на основі заліза, їх зносостійкості та рекомендації щодо параметрів виплавляння в індукційних печах.

Для визначення рідкотекучості сплавів обрана удосконалена методика з використанням спіралі трапецієподібного перерізу, яка забезпечує стабільність температури розплаву та його кількості наявністю спеціальної чаші. Методика дає можливість одержати виміри з відносною похибкою  $\pm 6\%$ .

Методика визначення лінійної усадки розроблена співробітниками кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ «КПІ».

В основу методики покладені перетворення лінійних змін зразка під час його усадки в пропорційну зміну електричної напруги за допомогою потенціометричного датчика лінійних переміщень. Сигнал від датчика записується на діаграмі потенціометричного двокоординатного самописця Н-703 у функціональній залежності  $\varepsilon = f(t \text{ } ^\circ\text{C})$ . Вимірювання температури зразка здійснюється за допомогою вольфрам-ренієвої термопари ВР 5/20.

Для визначення лінійної усадки використовуються призматичні зразки розмірами  $200 \times 25 \times 30$  мм, які виготовляються в піщано-глинястих формах. Відносна похибка вимірювань складає  $\pm 3\%$ .

Розроблена методика дослідження об'ємної усадки сплавів на основі заліза дає можливість виконувати диференційований аналіз усадкових явищ з високою точністю об'ємних вимірів – повної об'ємної усадки, об'ємів усадкових раковин і поруватості.

Для дослідження тріщиностійкості сплавів на основі заліза використовується удосконалена технологічна циліндрична проба з товщиною стінки 7 мм і потовщенням  $30 \times 12$  мм, яка має високу відтворюваність результатів.

Схильність високолегованих хромистих сплавів до плівкоутворення визначається з використанням проб у вигляді плити з трьома ребрами. Підведення металу здійснюється трьома живильниками в ребра проби. Оцінкою плівкоутворення слугує сумарна довжина незлитин на зразку.

Виготовлення зразків для визначення механічних властивостей і ударної в'язкості виконується з використанням розроблених оригінальних технологій, які дають можливість одержати високоякісні зразки і випробувати їх без механічного оброблення.

Для дослідження зносостійкості сплавів в абразивному середовищі розроблена роторна установка, для умов ударно-абразивного зносу – струменеударна, для умов гідроабразивного зносу – за методом обертання зразків в гідроабразивному середовищі. Для кожної установки визначені оптимальні режими випробовування зразків відповідної форми.

Визначені оптимальні параметри роботи індукційної печі з основною футеровкою під час виплавляння високолегованих чавунів з використанням стандартних шихтових матеріалів і звороту власного виробництва.

Установлено, що параметри роботи печі, які характеризують ефективну або неефективну експлуатацію плавильного агрегату (сила струму, напруга і потужність) суттєво залежать від щільності укладеної в тигель шихти і самого складу шихти. Суттєвий вплив на параметри роботи печі справляє використання звороту власного виробництва, оскільки ця складова шихти не є компактным шихтовим матеріалом. Хоча використання цієї складової шихти під час

виплавлення високолегованих зносостійких чавунів знижує собівартість литва, збільшення його вмісту в шихті потребує підвищення сили струму, напруги і потужності та подовжує термін плавки. Це призводить до перевитрат електроенергії, зниження продуктивності плавильного агрегату, збільшення витрат футеровки на одну тонну придатного литва.

**Федоров Г.Є., Ямшинський М.М., Назаренко В.С., Платонов Є.О.**  
(НТУУ «КПІ»)

## **ПІДВИЩЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХРОМОАЛЮМІНІ-СВИХ СТАЛЕЙ МІКРОЛЕГУВАННЯМ ТА МОДИФІКУВАННЯМ**

З використовуваних у промисловості жаростійких сплавів практичний інтерес представляють, перш за все, сплави на основі заліза, леговані недорогими і недефіцитними елементами.

Найбільш поширеними у промисловості є жаростійкі сталі, що містять у своєму складі нікель, кобальт, молібден, вольфрам та інші дефіцитні і дорогі елементи. Для одержання цих сплавів необхідно використовувати шихтові матеріали підвищеної чистоти, що значно здорожує виробу і ускладнює технології їх виготовлення.

Перспективним матеріалом для виготовлення жаростійких виливків відповідального призначення є сплави, які мають меншу вартість і вищу жаростійкість у порівнянні із сплавами, що мають дорогі легувальні елементи. Такими є хромоалюмінієві сталі. Але широке використання хромоалюмінієвих сталей у промисловості стримується нижчими, у порівнянні з хромонікелевими сталями, механічними властивостями при нормальних і високих температурах та гіршою технологічністю.

Проведене комплексне дослідження впливу хрому, алюмінію, вуглецю і титану на ливарні та спеціальні властивості жаростійких сталей дозволило рекомендувати як кращий ливарний матеріал для виробництва виливків, які працюють при високих температурах, хромоалюмінієвий сплав, легований титаном, такого складу, %: С = 0,30...0,40; Cr = 25...32; Al = 1,2...3,0; Ti = 0,25...0,60; Si < 1,0; Mn < 0,8; P < 0,025; S < 0,025. Цей хімічний склад забезпечує найбільш високі як ливарні, так і експлуатаційні показники.

Мета роботи – визначити температуру рекристалізації сталі, для проведення термомеханічного оброблення сталі **35Х30Ю2ТЛ**, для цього треба знайти температуру рекристалізації. Маючи температуру рекристалізації даного сплаву, можна буде відпрацювати режими нагрівання для термомеханічного оброблення. Для визначення температури рекристалізації була розроблена установка для визначення тимчасового опору розриванню при підвищених температурах ГОСТ 9651 – 84.

Для проведення даного дослідження було проградуєвано піч (визначена залежність температури від часу при різній напрузі) і на основі цього побудовано графік залежності температури від напруги та часу нагрівання, рис. 1.



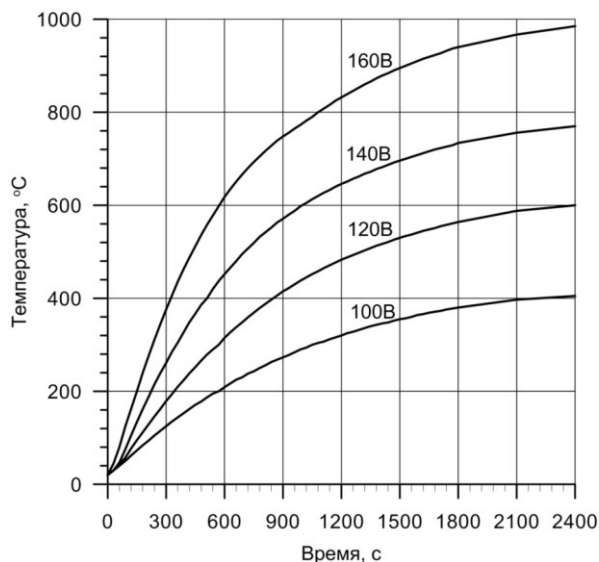


Рисунок 1 – Залежність температури від напруги та часу нагрівання яка не перевищує 5%.

Піч проградуйовано наступним чином: в зразку діаметром 10 мм було зроблено отвір довжиною 100 мм. Зразок поміщали в піч, в отвір вставляли термопару і присипали її стружкою, яка утворилась при виготовленні отвору. Під час нагрівання зразка знімали через 30 секунд показання термопар.

Також час нагрівання до певної температури був визначений теоретичними розрахунками, аналіз даних показав, що теоретичні розрахунки співпадають з експериментальними даними, маючи незначну похибку,

**Парфентьєв О.В., Федоров Г.Є., Радченко К.С.**  
(НТУУ «КПІ»)

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ХРОМОМАРГАНЦЕВИХ ЧАВУНІВ, МІКРОЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ І ВАНАДІЄМ**

Сплави, які використовують у теплоенергетиці для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах гідроабразивного зносу, містять у своєму складі досить значну кількість дорогих та дефіцитних елементів, таких як молібден, мідь, нікель та ін.

У вітчизняній та зарубіжній практиці накопичений значний досвід щодо використання як зносостійких матеріалів, які працюють в гідроабразивному середовищі, високохромистих і хромомарганцевих чавунів. Проте такі чавуни мають відносно невисокі механічні властивості, здатні утворювати тріщини у виливках у процесі твердіння і термічного оброблення, а тому потребують додаткового вивчення процесів легування, мікролегування, модифікування, термічного оброблення тощо з метою підвищення експлуатаційних характеристик сплавів.

Важливим етапом технології виготовлення деталей з білих зносостійких чавунів є термічне оброблення. Неправильно призначений або невдало проведений режим термічного оброблення може звести до мінімуму переваги білих зносостійких чавунів перед іншими матеріалами.

Вивчено вплив хрому на твердість та зносостійкість хромомарганцевого чавуну в діапазоні його концентрацій від 4,5 до 31,6%.

Досліджено вплив марганцю на властивості високохромистого чавуну в діапазоні концентрацій від 2,1 до 11,9%.

Для мікролегування використані титан, ванадій. Як базовий зносостійкий сплав вибраний розроблений нами хромомарганцевий чавун 290Х19Г4.

Вплив титану на характеристики сплаву досліджено в діапазоні його концентрацій до 1,2%. Підвищення концентрації титану до 0,5% сприяє збільшенню твердості сплаву та зносостійкості чавуну, внаслідок подрібнення зерна і гомогенізації сплаву. Підвищувати вміст титану понад 0,5% в зносостійкому чавуні недоцільно, оскільки дещо зменшується твердість та зносостійкість, хоча вони залишається кращими, ніж сплаву 290Х19Г4.

Отже для покращання експлуатаційних характеристик хромомарганцевого чавуну його доцільно мікролегувати титаном у межах 0,1...0,5%.

Вивчено вплив ванадію на властивості зносостійкого хромомарганцевого чавуну в діапазоні концентрацій до 1,1%.

Збільшення вмісту ванадію в чавуні до 1% підвищує зносостійкість, твердість та мікротвердість сплаву, оскільки збільшується кількість карбідів ванадію. Подальше підвищення вмісту ванадію в чавуні недоцільне, оскільки утворюються крупні карбіди округлої форми, які швидко викришуються із матриці під дією абразиву.

Таким чином, для підвищення зносостійкості базового хромомарганцевого чавуну, його доцільно додатково мікролегувати ванадієм у межах 0,5...0,8 %.

Дослідження низькотемпературного термічного оброблення проведено з метою доцільності використання режимів, що не потребують високотемпературних термічних печей, які зменшують енергоємність термічного оброблення. Дослідження високотемпературного відпалу ґрунтувались на можливості високих показників твердості, в'язкості і зносостійкості. Тривалість перебування зразків у печі – 4 год для кожного досліду.

Визначені режими термічного оброблення: для литих деталей, які не піддають механічному обробленню, слід використовувати відпуск 680 °С для зняття ливарних напружин і гомогенізації структури; для деталей, які піддають механічному обробленню – низькотемпературний відпал (770 °С) для зменшення твердості і покращення оброблюваності.

**Пічугін А.Т., Лук'яненко О.Г., Труш В.С.**

**(Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів)**

## **ПІДВИЩЕННЯ ОПІРНОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ДО СПОВІЛЬНЕНОГО РУЙНУВАННЯ РЕГЛАМЕНТОВАНИМ ТВЕРДОРОЗЧИННИМ ЗМІЦНЕННЯМ**

**Вступ.** Титан та сплави на його основі мають унікальний комплекс фізико-механічних властивостей, тому широко застосовуються як конструкційний матеріал у різних галузях промисловості: хімічній, авіаційній, медичній, автомобіле- і суднобудуванні тощо, – і сфера їх застосування постійно розширюється. Відповідно зростають і вимоги до експлуатаційних

характеристик виробів, що зумовлює пошук шляхів підвищення фізико-механічних характеристик сплавів на основі титану. Одним із таких шляхів є інженерія поверхні, а саме модифікування та зміцнення поверхневих шарів металу. Фахівцями Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України запропонована концепція інженерії поверхні титанових сплавів термодифузійними методами, згідно якої формування поверхневих шарів з регламентованою структурою та фазовим станом є запорукою підвищення фізико-механічних властивостей металу. В рамках даної концепції розроблено метод регламентованого твердорозчинного зміцнення (РТЗ) поверхневих шарів металу термодифузійним насиченням з кисневмісного газового середовища для підвищення втомної міцності виробів з титанових сплавів. Однак поряд з втомною міцністю важливим критерієм працездатності виробів з титанових сплавів зі зміцненими поверхневими шарами є їх схильність до сповільненого руйнування під статичним навантаженням.

Саме тому **мета даної роботи** - встановити вплив РТЗ поверхні на опірність титанових сплавів ВТ1-0 і ПТ7М сповільненому руйнуванню під статичним навантаженням. Для цього на зразках із даних сплавів термодифузійним методом були сформовані поверхневі газонасичені шари глибиною 30...60 мкм з різним рівнем зміцнення  $5\% < K < 100\%$ , який визначали за величиною відносного приросту твердості поверхні

$$K = ((H_{\mu}^s - H_{\mu}^c) / H_{\mu}^c) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де  $H_{\mu}^s$  – твердість поверхні металу;

$H_{\mu}^c$  – твердість серцевини металу.

Дослідження на сповільнене руйнування проводили за кімнатної температури на плоских зразках (4 × 1 мм) з V-подібним концентратором глибиною 0,5 мм.

**Основні висновки.** Встановлено, що РТЗ поверхні сплавів титану ВТ1-0 і ПТ7М термодифузійним насиченням домішками втілення з контрольованого кисневмісного газового середовища підвищує їх опірність сповільненому руйнуванню за умов статичного розтягу порівняно з вихідним (не зміцненим) станом: напруження руйнування зразків на 1000-год базі досліджень зростають на 7...10 %.

Згідно фрактографічних досліджень РТЗ впливає на мікроособливості руйнування зразків сплавів ВТ1-0 і ПТ-7М. Зі зміцненням сплаву ВТ1-0 (в діапазоні  $0 \leq K \leq 50\%$ ) кількість ділянок крихкого транскристалітного сколу зростає, спостерігається поява скольних транскристалітних фасеток в зоні зародження початкової тріщини. Для сплаву ПТ-7М РТЗ поверхні до рівня  $K \approx 80\%$  (коли зафіксовано найбільші руйнівні напруження на 1000-год базі досліджень) зумовлює подрібнення мікрорельєфу руйнування, з явним наростанням доли мікрорельєфної складової в зламі у вигляді деформаційних гребенів і ямок. Спостерігається невелика кількість транскристалітних відколів, а також зменшення розміру скольних фасеток.

Таким чином РТЗ поверхневих шарів титанових сплавів ВТ1-0 і ПТ7М до оптимального рівня зміцнення зменшує їх схильність до сповільненого руйнування під статичним навантаженням.

**Радченко К.С., Ямшинський М.М., Левін В.А.**  
(НТУУ «КПІ»)

### **ВПЛИВ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ХРОМОМАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ, МІКРОЛЕГОВАНОГО СУРМОЮ**

Багато деталей машин і механізмів в гірничодобувній, хімічній, металургійній, теплоенергетичній та ін. галузях промисловості працюють в екстремальних умовах абразивного і гідроабразивного зношування. Високу стійкість в таких умовах роботи мають високохромисті і хромомарганцеві чавуни, мікролеговані титаном, ванадієм, сурмою, бором або модифіковані РЗМ. Додатковим важелем впливу на структуру і властивості таких сплавів є їх термічне оброблення.

В даній роботі досліджено вплив мікролегування сурмою в діапазоні концентрацій від 0 до 1,2% (за присадкою) на структуру і властивості хромомарганцевого чавуну (хімскладу, %: 2,80...3,15 С, 18,60...20,80 Cr, 3,75...4,10 Mn, 0,42...0,81 Si,  $\leq 0,09$  P,  $\leq 0,05$  S).

Невеликі присадки сурми (до 0,15%) у хромомарганцевий чавун сприяють підвищенню твердості та зносостійкості сплаву на 15...20%. Сурма впливає не тільки на евтектичне перетворення, але і на кристалізацію аустеніту. Зміщуючи евтектичну точку в бік меншого вмісту вуглецю, сурма збільшує кількість евтектики та подрібнює її. Подальші підвищення присадки сурми різко зменшують зносостійкість сплаву. Це пояснюється тим, що у таких кількостях сурма сприяє утворенню не дрібнодисперсної евтектики, а суцільного поля структурно-вільного цементиту, який має послаблений зв'язок з матрицею сплаву та легко викришується при дії на поверхню зразка абразиву.

Досліджено вплив режимів термічного оброблення на зміну мікроструктури і твердості хромомарганцевого чавуну, мікролегованого сурмою (0,10...0,15%). Були проведені такі режими термічного оброблення:

- відпуск при температурі 300 °С;
- відпуск при температурі 680°С;
- відпал при температурі 770°С;
- відпал при температурі 860°С.

Тривалість перебування зразків у печі – 4 год для кожного досліджу.

Дослідження низькотемпературного термічного оброблення проведено з метою використання режимів, що не потребують високотемпературних термічних печей, які зменшують енергоємність термічного оброблення та для деталей, які не піддають механічному обробленню. Проведення високотемпе-

ратурного відпалу ґрунтувалось на можливості високих показників твердості, в'язкості і зносостійкості. Паралельно оцінювали структурний стан чавунів, як наслідок перетворень після термічного оброблення.

Максимальну твердість має чавун після низькотемпературного відпуску (50 од HRC), а мінімальну – після високотемпературного відпалу (42 од. HRC).

Проведені дослідження впливу режимів термічного оброблення на твердість рекомендованих чавунів дають можливість запропонувати відповідні режими для конкретних деталей:

- деталі, які не піддають механічному обробленню, слід піддавати високотемпературному відпуску, наприклад, деталі шнекових транспортерів;
- деталі, які піддають механічному обробленню, слід піддавати низькотемпературному відпалу, наприклад, литі деталі багерних насосів.

**Сас А.С.**

**(НТУУ «КПІ»)**

### **ЛЕГУВАННЯ ЧАВУНУ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ**

У сучасному машинобудуванні до окремих частин литих деталей машин і механізмів висувають різні, іноді протилежні за функціональним призначенням вимоги щодо механічних і експлуатаційних властивостей. Високу зносостійкість робочої поверхні може забезпечити вибілений чавун, а пластичну серцевину – високоміцний чавун з кулястим графітом.

Метод оброблення чавуну у ливарній формі дозволяє отримувати двохшарові виливки в одну стадію шляхом оброблення вихідного чавуну у ливарній формі різними присадками.

Одним із способів отримання зносостійкої поверхні є введення в розплав ферохрому. Збільшення добавки хрому визиває вибілення. Хром відноситься до легувальних елементів, що збільшують розчинність вуглецю у рідкому металі та знижують вміст вуглецю в евтектиці, твердих розчинах і перліті, підвищують температуру евтектичного та евтектоїдного перетворення та звужують область аустеніту.

Але ферохром є надтугоплавким феросплавом з температурою плавлення 1600...1730°C, що суттєво ускладнює його розчинення в потоці рідкого чавуну. З метою підвищення температури в реакційній камері було використано досвід легування чавуну в ковші та підігрівання металу в надливах – використання алюмінієвого терміту. Температура горіння алюмінієвого терміту складає близько 2000°C.

Метою роботи є: дослідження кінетики плавлення надтугоплавкого феросплаву у середовищі алюмінієвого терміту.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Встановити вплив технологічних параметрів (фракційного складу ферохрому, його кількості по відношенню до алюмінієвого терміту, швидкості плавлення та температури зони контакту) на ефективність процесу розчинення ферохрому.

2. Встановити оптимальні значення технологічних параметрів, що забезпечують повне та рівномірне розплавлення ферохрому.

3. Дослідити вплив алюмінієвого терміту на зміну температури чавуну під час заливання в ливарну форму.

4. Розробити рекомендації щодо конструкції ливникової системи, що забезпечує оброблення потоку чавуну стабілізуючими присадками під час заливання форми з використанням алюмінієвого терміту.

Для проведення досліджень було використано відкриту технологічну пробу циліндричної форми ( $d=50\text{мм}$ ,  $h=50\text{мм}$ ) з піщано-глинистої суміші. Посередині проби розміщували неущільнений ферохром у вигляді циліндру висотою 50мм, діаметр зразка змінювали від 0 до 20 мм з кроком 5мм. Залишений простір проби засипали порошковим алюмінієвим термітом, без додаткового ущільнення. Крім діаметру зразків, змінювався також гранулометричний склад ферохрому 1...3 мм та 3...5 мм. Для підпалення алюмінієвого терміту використовували електричну дугу.

В результаті досліджень було встановлено наступну залежність між діаметром зразка ферохрому та часом горіння алюмінієвого терміту – зі збільшенням діаметру зразка ферохрому швидкість горіння терміту знижується.

Крім того було проведено дослідження швидкості горіння терміту в залежності від діаметру технологічної проби. Було встановлено, що лінійна швидкість горіння терміту не залежить від площі поперечного перетину проби. При діаметрі 15 мм та висоті 50 мм час горіння становив 7 с, а при діаметрі 50 мм – 8 с.

**Ушакова С.О.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **КОНТАКТНА ВЗАЄМОДІЯ У БІМЕТАЛІ (СТАЛЬ – ЛКМ) НА МЕЖІ ОСНОВНОГО ТА ПЛАКУЮЧОГО ШАРУ ПРИ ТВЕРДОРІДКОФАЗ- НОМУ СУМІЩЕННІ**

Сьогодні головними науково-технічними напрямками матеріалознавства є: створення на основі фундаментальних досліджень нових перспективних матеріалів для техніки ХХІ століття, пошук нових принципів систем армування й легування високоміцних композицій, удосконалювання й розробка нових технологій твердо-рідкофазної консолідації, гетерогенних композиційних матеріалів (КМ) з високою питомою міцністю, зносостійкістю, розмірною стабільністю при підвищених температурах і навантаженнях, доступних за ціною для масових галузей промисловості.

В останні роки у зв'язку зі значною жорсткістю робочих режимів устаткування, підвищенням вимог до властивостей матеріалів у промисловості України й ін. країн спостерігається гостра потреба в створенні нових, порівня-

но недорогих і недефіцитних трибоматеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Змочування твердих армуючих елементів матричним розплавом є однією з основних умов формування якісного литого композиційного трибоматеріалу та приводить до утворення фізичного контакту між фазами, сприяє просоченню пор і формуванню міцного адгезійного зв'язку між елементами композиту і, таким чином, одержанню однорідного, щільного і міцного композиційного вилівка. Тому вивчення процесів змочування в гетерогенній системі «рідкий мідний сплав – тверда підложка» дає вихідні дані для одержання ЛКМ оптимального складу.

Для поставленої задачі як складові ЛКМ були обрані матричні сплави, найбільш перспективні у виробництві композиційних підшипників ковзання: БрА9Ж4, БрКЗМц1, БрО10Ф1, мідь. Як підложки, що моделюють армуючі елементи ЛКМ, було обрано такі залізовуглицеві сплави: вуглецева сталь, ШХ15, зносостійкий хромовий чавун типу 14Х12Г5.

Експериментально встановили, що крайовий кут змочування міддю вуглецевої сталі й сталі ШХ-15 при температурах, близьких до температури ліквідус, менше  $70^\circ$  і зменшується з подальшим підвищенням температури, причому для сталі ШХ-15 значення  $\theta$  приблизно на  $20^\circ$  вище, чим у вуглецевої сталі. Значення  $\theta$  міддю хромистого чавуну в інтервалі  $1089\dots 1200^\circ\text{C}$  відповідає області незмочування й тільки при температурах понад  $1220^\circ\text{C}$  досягає значень менше  $70^\circ\text{C}$ .

Олов'яниста бронза найкраще змочує підложку, виготовлену з вуглецевої сталі: крайовий кут змочування менше  $30$ , енергія адгезії висока й мало міняється з підвищенням температури. У випадку взаємодії з підложкою зі сталі ШХ-15 кут  $\theta$  більше приблизно в 2 рази, характер же зміни  $\theta$  з підвищенням температури аналогічний. У випадку із чавуном, олов'яниста бронза не змочує підложку навіть при підвищенні температури понад  $1220^\circ\text{C}$ .

У випадку алюмінієвої бронзи область повного змочування при температурі  $>1040^\circ\text{C}$  у випадку підложки з вуглецевої сталі,  $>1100^\circ\text{C}$  у випадку сталі ШХ-15,  $>1320^\circ\text{C}$  при підложці із хромистого чавуну.

Крайовий кут змочування кремній-марганцевої бронзи у випадку підложки з вуглецевої сталі зменшується до  $25\dots 30^\circ$  при температурі  $1020^\circ\text{C}$ , а при температурі  $1120^\circ\text{C}$  крапля практично повністю розтікається по підложці (кут  $\theta = 0$ ). У випадку сталі ШХ-15, кремній-марганцева бронза змочує підложку при температурах вище температури ліквідусу.

У випадку підложки із хромистого чавуну падіння кута змочування починається при температурах вище  $1220^\circ\text{C}$  и досягає значень  $<90^\circ$  при температурі  $\sim 1250^\circ\text{C}$ .

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок: в інтервалі температур 1100...1300 °С краще інших змочується підложка з вуглецевої сталі, з мідних сплавів стабільно-оптимальні температурні параметри змочуваності має олов'яниста бронза.

**Фесенко А.Н., Фесенко М.А., Дегтярев С.А.**  
*(ДДМА, м. Краматорськ)*

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ВТУЛОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ**

Центробежное литье является перспективным способом изготовления литых деталей, в первую очередь, имеющих форму тел вращения. Способ позволяет получать отливки высокого качества, с повышенной плотностью и требуемой структурой металла при технологическом выходе годного, приближающемся к 100%.

Особый интерес технология центробежного литья представляет для изготовления двухслойных и многослойных отливок с дифференцированными структурой и свойствами в различных слоях. Чаще всего такие отливки с сочетанием слоев сталь – чугун, чугун – бронза, легированный чугун – серый или высокопрочный чугун и др. получают путем последовательной заливки во вращающуюся изложницу разнородных расплавов.

Необходимость предварительного приготовления разных по составу и свойствам жидких сплавов для получения таких отливок вызывает необходимость установки в цехе двух и более плавильных печей для их выплавки, либо наличия нескольких специальных агрегатов для внепечной обработки отдельных порций расплава, что усложняет и удорожает технологический процесс изготовления литых изделий.

На кафедре «Технологии и оборудования литейного производства» ДГМА разработан и исследован технологический процесс изготовления центробежнолитых чугунных втулок с дифференцированной структурой и свойствами в разных слоях из одного базового (исходного) расплава.

Дифференциация структуры и свойств получаемых центробежнолитых втулок достигается за счет обработки базового (исходного) расплава разными по функциональному назначению и воздействию на структуру и свойства металла модифицирующими, легирующими или другими добавками во время последовательной заливки изложницы исходным расплавом.

С целью реализации предложенного способа была спроектирована установка центробежного литья с горизонтальной осью вращения изложницы. Конструкцией установки предусмотрен заливочный модуль, располагающийся над перемещающимся вдоль продольной оси изложницы заливочным желобом. Заливочный модуль представляет собой разовую или полупостоянную литейную форму, обеспечивающую возможность в процессе заливки прово-



дуть обработку базового (исходного) расплава внутри литейной формы (заливочного модуля) разными мелкодисперсными, зернистыми, гранулированными или брикетированными добавками, которые располагаются в специальных проточных реакционных камерах автономных литниковых систем литейной формы (заливочного модуля).

Для получения двухслойных литых чугуновых втулок с дифференцированной структурой и свойствами в наружном и внутреннем слоях в работе были опробованы следующие технологические варианты:

– первоначальная заливка вращающейся изложницы исходным белым чугуном доэвтектического состава, склонным к кристаллизации по метастабильной системе, через первую литниковую систему заливочного модуля с последующей доливкой после определенной временной выдержки для образования разделительной твердой поверхностной корочки между слоями исходным чугуном через вторую, независимую от первой, литниковую систему заливочного модуля, включающую реакционную камеру, заполненную графитизирующим модификатором;

– первоначальная заливка вращающейся изложницы исходным серым чугуном эвтектического состава через первую литниковую систему заливочного модуля, включающую реакционную камеру с карбидостабилизирующей добавкой, с последующей доливкой исходным чугуном после выдержки через вторую независимую от первой литниковую систему заливочного модуля, в составе каналов которой предусмотрена реакционная камера, заполненная сфероидизирующим модификатором.

Результаты исследований подтвердили возможность реализации предложенного технологического процесса. В ходе экспериментов были получены чугуновые двухслойные втулки с дифференцированной структурой и свойствами металла во внешнем и внутреннем слоях с сочетанием белый чугун – серый чугун и белый чугун – высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

**Чернега Д.Ф., Сороченко В.Ф., Кудь П.Д.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

### **ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СПОСОБУ АЛІТУВАННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

Відомо, що високолеговані сталі, які використовуються для виробництва емностей зберігання водню, характеризуються високим комплексом технологічних і механічних властивостей. Однак, в таких сталях під час експлуатації водневих резервуарів поступово розвивається «воднева деградація», яка проявляється в зниженні механічної міцності і суцільності конструкції, що призводить до значних втрат водню у навколишнє середовище.

Одним із способів захисту високолегованих сталей від водневої корозії є алітування їх поверхні з подальшим нанесенням захисної бар'єрної оболонки товщиною 2...5 мм. Застосування відомого способу алітування, що базується на зануренні виробів у розплав алюмінію з вмістом заліза 6...8 % при темпера-

турі 973...1073 К з витримкою 45...90 хвилин, призводить до інтенсивного розчинення сталевих пластин з утворенням на їх поверхні «корозійних канавок» і приливів, і не забезпечує формування надійного дифузійного шару товщиною до 800 мкм.

З метою зниження розчинення сталевих матриць і підвищення якості алітованої поверхні сталевих виробів запропоновано у відомий сплав для алітування додатково вводити 2,0...3,0 % хрому, 2,5...3,0 % нікелю, 4...6 % кремнію, а сам процес дифузійного насичення сталевих матриць алюмінієм не повинен перевищувати 45 хвилин. Застосування для деталей циліндричної форми після їх видалення із розплаву кругового обертання зі швидкістю 300...350 об/хв протягом 10...15 с, а для деталей несиметричної форми – обдування нагрітим повітрям (773...873 К) під тиском 0,4...0,6 МПа повинно забезпечити отримання якісного дифузійного шару без наявності на їх поверхні приливів.

В якості об'єкта досліджень, з метою з'ясування технологічних особливостей процесу алітування, були вибрані пластини нержавіючої сталі 08X18N10T. Дослідження якості поверхні алітованих пластин на предмет визначення «корозійних канавок» і приливів проводилось візуальним способом при п'ятикратному збільшенні об'єкта дослідження. Концентрацію елементів у дифузійному шарі і на його поверхні визначали за допомогою якісного емісійного спектрального аналізу МФС-8 (ГОСТ 7727-81). Товщину дифузійного шару визначали з допомогою оптичних мікроскопів МИМ-7 та «Неофот-21» на торці пластини після зняття на ній дифузійного шару.

Застосування алюмінієвого сплаву з підвищеним вмістом заліза, хрому, нікелю і кремнію знижує інтенсивність розчинення сталевих матриць у розплаві алюмінію за рахунок уповільнення процесу дифузії атомів цих металів зі сталевих пластин і навпаки, і утворення «корозійних канавок» не відбувається. За рахунок дії відцентрових сил при круговому обертанні пластин зі швидкістю 300...350 об/хв відбувається відривання масивних скупчень рідкого металу від їх поверхні, що сприяє формуванню рівномірного дифузійного шару товщиною 600...700 мкм без виступів і приливів. Наявність підвищеного вмісту кремнію в дифузійному шарі забезпечує в подальшому надійне зчеплення дифузійного шару з захисною бар'єрною оболонкою.

Заходи по покращенню поверхні деталей несиметричної форми з більш складною конфігурацією, що виготовляються з аустенітних сталей, відпрацьовані на пластинках сталі 08X18N10T. Установлено, що після видалення їх із розплаву запропонованого хімічного складу і обдування нагрітим повітрям (773...873 К) під тиском 0,4...0,6 МПа також відбувається більш-менш рівномірне формування дифузійного шару з достатньою товщиною, оскільки потік гарячого повітря «розмиває» рідкий метал і перешкоджає утворенню приливів по периметру пластини. Причому більш якісна поверхня формується при підвищених температурах і тиску, хоча це є економічно невигідним.

Застосування запропонованого сплаву та дотримання технологічних параметрів процесу алітування дозволить сформувати надійний дифузійний шар на поверхні виробів із аустенітних сталей і покращити їх службові характерис-

тики, що важливо при створенні біметалевих балонів для зберігання водню та інших газоподібних продуктів.

**Яблонський А.А., Могилатенко В.Г, Гурія І.М.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ З ПІНОАЛЮМІНІЮ**

Технологія виготовлення виливків з піноалюмінію може бути використана в різних промислових галузях, зокрема в машинобудуванні можливо застосовувати пористі демпфери, віброізоляційні кожухи та стрижні пружності. Але масштаби впровадження ливарних технологій в даний час невеликі через відсутність обґрунтованих технологічних параметрів отримання якісних виливків.

Дешевим та перспективним методом виготовлення подібного матеріалу є спінювання рідкого алюмінієвого розплаву за допомогою пороутворювача. Одними з найдешевших та найпоширеніших пороутворювачів є карбонати кальцію чи магнію. Наведеним способом отримують піноалюміній із закритими порами та суцільною ливарною кіркою по всій поверхні вилівка. Пористість такого матеріалу лежить у межах 70...80%.

Виготовлення виливків з пористого алюмінію має ряд особливостей, що обумовлені процесами, котрі не є характерними для традиційного ливарного виробництва.

Процес замішування реагентів у розплав. Вирішальним фактором в одержанні ливарних композицій є взаємодія розплаву та часток, що вводяться. Ця взаємодія залежить від багатьох факторів, але найважливішими серед них слід вважати природу розплаву й природу часток, що вводяться, тобто склад, будову, взаємну розчинність, змочування. Також існує зв'язок засвоєння з розмірами часток: більші частки завжди засвоюються краще дрібних.

Густина розплаву при однаковій температурі форми і при однаковій кількості  $\text{CaCO}_3$  зменшується зі збільшенням фракції карбонату кальцію (рис.1). При подальшому збільшенні фракції пороутворювача зміна густини відбувається більш повільно. Одночасно разом зі зменшенням густини збільшується і середній розмір пор, а їх кількість зменшується.

Особливості температурного режиму полягають в забезпеченні процесу підспінювання металу перед заливанням. Дослідження впливу температури металу при замішуванні керамічних часток та карбонату кальцію в розплав проводили при температурах металу 923 К; 953 К; 983 К; 1013 К. При вищих температурах починається небажане активне спінювання алюмінієвого розплаву ще в тиглі.

Температура металу при замішуванні та температура форми є одними з найважливіших параметрів, які впливають на густину сплаву, від якої в значній мірі залежать властивості та якість отриманого вилівка. Засвоєння порошку кераміки значною мірою залежить від температури алюмінієвого розплаву.

Характерним тут є досить різке зниження засвоєння пороутворювача при замішуванні в області інтервалу кристалізації сплаву.

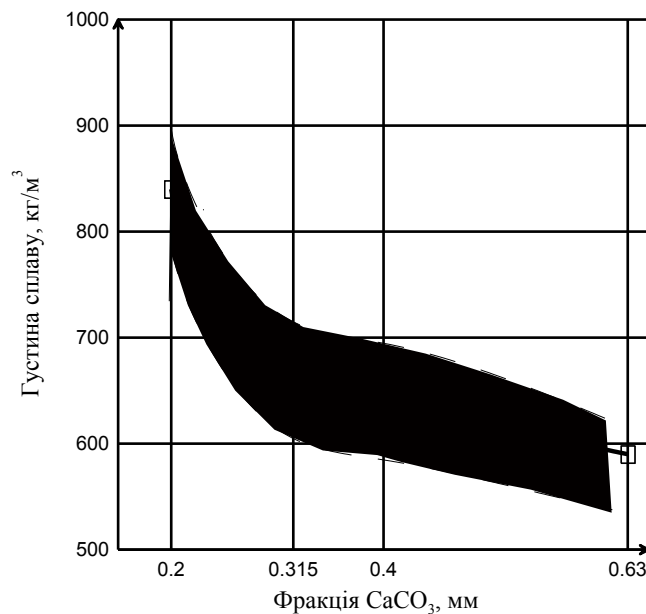


Рис. 1 – Залежність густини вилівка від фракції пороутворювача.  
Кількість CaCO<sub>3</sub> = const

Змінюючи температурний режим та фракційний склад пороутворювача, можливо отримати потрібну густину та розмір пор вилівка.

Процеси, що відбуваються під час спінення сплаву та ливарні властивості підспіненої композиції обумовлюють особливості конструкції ливарної форми. Рідкотекучість даної композиції є дуже низькою, тому ливникова система має бути максимально короткою та розташовуватись безпосередньо над порожниною форми (дощового типу), а її поперечний переріз має бути досить широким.

Процес спінювання супроводжується значним збільшенням об'єму, через що при заливанні заповнюємо не всю порожнину форми. Формування вилівка відбувається за рахунок тиску, що утворюється при дисоціації пороутворювача. Тому однією із наступних задач досліджень є розрахунок потрібної кількості композиції, що заливається.

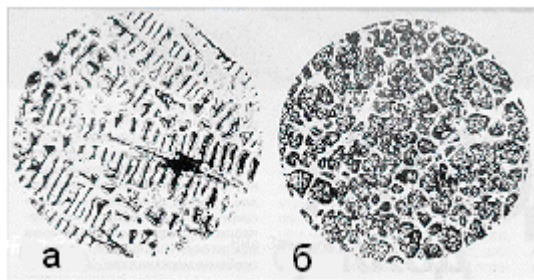
**Яровий І.С., Кіщенко О.М.**  
(КТУ, м. Кривий Ріг)

### **ПОЛІПШЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИЛИВКІВ ПРИ КОНТРОЛІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ВПЛИВОМ**

В даний час у ливарному виробництві велике значення має розробка і дослідження способів зовнішніх впливів на розплави (таких як ультразвук, вібрація, високотемпературний перегрів, електричний струм, магнітне поле та ін.)

Металургійна промисловість України зацікавлена у розробці таких фізичних методів, які дозволять впливати на метал в самий відповідальний момент формування структури, дозволяють управляти процесом кристалізації металів і сплавів, тим самим контролюючи і підвищуючи показники надійності і довговічності заготовок.

Перші дослідження показали, що вилівок має грубозернисту структуру (рис. 1, а), але якщо під час кристалізації його обробити ультразвуком, то злиток набуває дрібнозернисту структуру (рис. 1, б), а значить, його механічні властивості стають кращими. Більш того, ультразвук сприяє більш повному видаленню газів, які містяться в розплаві, що також покращує якість металу.



а – без обробки, б – після обробки ультразвуком

Рис. 1 – Структура металу

Застосування ультразвукового впливу супроводжується зменшенням опору тертя, глибина поверхневих складок зменшується, кількість поверхневих бульбашок зменшується у кілька разів, якість поверхні покращується. Також ультразвук при певній частоті та інтенсивності звуку застосовується в якості ультразвукової дегазації розплаву.

Дегазація розплавленого металу супроводжується його рафінуванням. При підвищенні інтенсивності ультразвуку загальне число бульбашок-зародків різко зростає.

Крім ефекту рафінування, при ультразвуковій обробці розплавленого металу підвищується також його рідкоплинність, що особливо важливо в ливарному виробництві при заповненні форми. Відносне збільшення рідкоплинності під час наведення ультразвукових коливань характерно для всіх рідин і становить приблизно 25...30%. Для кожного виду рідин необхідно проводити підбір частоти та інтенсивності коливань, щоб максимально знизити в'язкість озвучуваних ультразвуком рідин. У деяких опублікованих дослідженнях при дегазації сірого чавуну і сталі на 25% зменшується вміст у них оксидів Al, Si, Fe, Mn і інших елементів.

Дослідження ефективних технологій обробки розплавів ультразвуком при заливці в ливарну форму дає можливість одержувати вилівки будь-якої

конфігурації і не обмежувати матеріал форми. Обробка розплавів при заливці в ливарну форму є перспективною технологією, що дозволяє отримувати сплави з дрібнозернистою структурою і заданими властивостями. При цьому не потрібне використання модифікуючих добавок.

Однак на сьогоднішній день проведених дослідів не достатньо.

**Яблонський А.А., Гурія І.М., Козачук Є.В.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА ФОРМУВАННЯ ВИЛИВКІВ З ПОРИСТОГО АЛЮМІНІЮ**

Спінений алюміній належить до нового класу надлегких композиційних матеріалів з комірчастою структурою, яка забезпечує унікальну комбінацію нових фізичних та механічних властивостей, що є нехарактерним для монолітних матеріалів.

Технологія виготовлення виливків з піноалюмінію може бути використана в різних промислових галузях, зокрема в машинобудуванні. Але масштаби впровадження ливарних технологій в даний час невеликі через відсутність обґрунтованих технологічних параметрів отримання якісних виливків.

Дослідження впливу температури металу при замішуванні керамічних часток та карбонату кальцію в розплав проводили при температурах металу 923 К; 953 К; 983 К; 1013 К. При вищих температурах починається активне спінювання алюмінієвого розплаву ще в тиглі, що не є бажаним.

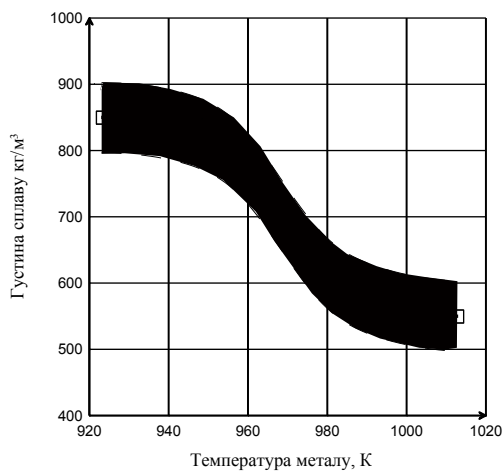
В інтервалі температур металу при замішуванні 953...983 К відбувається різке зменшення густини сплаву (рис. 1, а). Така залежність пояснюється початком дисоціації  $\text{CaCO}_3$ . В першу чергу починають розкладатися найдрібніші частинки (подрібнені в результаті замішування пороутворювача). Тобто відбувається підспінення металу ще в тиглі при замішуванні пороутворювача. Це є одним з основних факторів, що мають вплив на формування порового простору.

Дослідження впливу температури форми при спінюванні сплаву АК12 на густину виливків проводились при температурах 1043 К; 1073 К; 1103 К; 1133 К.

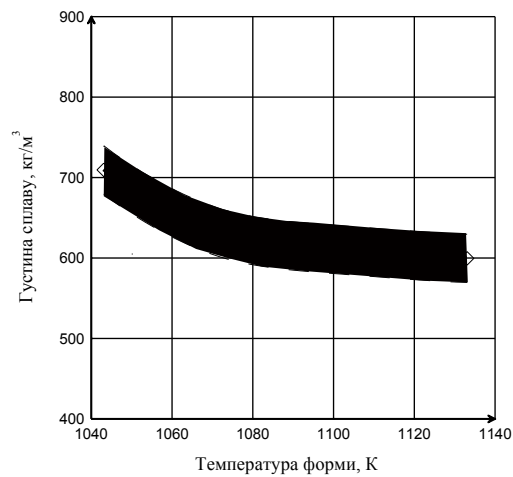
При температурах 1053...1073 К реакція дисоціації проходить більш інтенсивно і густина сплаву різко зменшується (рис. 1, б). При подальшому збільшенні температури густина сплаву зменшується не так інтенсивно, тому що в даному середовищі швидкість реакції дисоціації досягає свого максимуму.

Температура металу та температура форми є одними з найважливіших параметрів, які впливають на густину сплаву, від якої в значній мірі залежать властивості та якість отриманого виливка.

Змінюючи температурний режим, можливо отримати потрібну густину виливка (рис. 2).



а)



б)

Рис. 1: а) вплив температури металу при замішуванні  $\text{CaCO}_3$  на густина сплаву; б) залежність густини виливка від температури форми

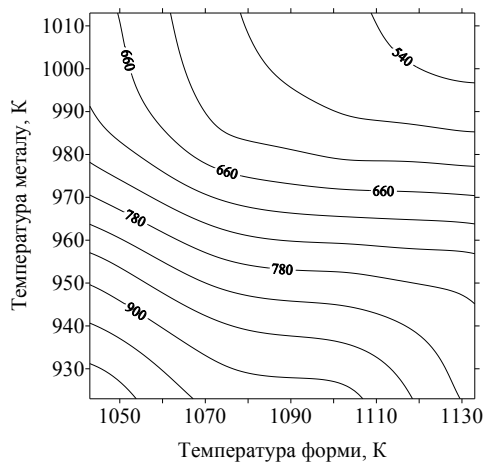


Рис. 2 – Залежність густини сплаву від температури металу та температури форми

### Висновки.

Проведено теоретичний аналіз і експериментальне дослідження впливу кількості і фракції пороутворювача на густина виливків з піноалюмінію. Отримані результати дозволяють більш глибоко зрозуміти вплив параметрів пороутворювача на параметри спіненого сплаву.

В результаті дослідження виявлено, що фракції 0,315...0,63 мм є кращими по якості замішування, по кінцевій густині виливка та по рівномірності розподілу пор в об'ємі.

В процесі спінювання при трьоххвилинній витримці порофор розкладається повністю.

Проведено теоретичний аналіз і експериментальне дослідження впливу температурних режимів оброблення алюмінієвих сплавів на формування пористих виливків. Встановлено залежність між температурним режимом метал – форма та густиною зразків.

**Омаровська Ю.І.**

**(НТУУ «КПІ»)**

### **ПЕРСПЕКТИВНЕ НАПРАВЛЕННЯ РОЗВИТКУ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ**

Попередніми дослідженнями встановлено, що перспективним матеріалом для виготовлення жаростійких литих деталей відповідального і особливо відпо-

відального призначення можуть бути хромоалюмінієві сталі, оскільки вони мають меншу вартість і вищу жаростійкість у порівнянні з хромонікелевими.

Вміст алюмінію в хромистій сталі повинен визначатися тим мінімумом, при якому зберігається достатньо тривала жаростійкість, і тим максимумом, вище якого різко знижуються пластичні властивості сталі і температура її плавлення.

Перші вітчизняні промислові хромоалюмінієві сталі використовували у вигляді прокату для виготовлення нагрівальних елементів електропечей опору, оскільки в своєму складі вони мали мінімальну кількість вуглецю (< 0,1%) і через це незадовільні ливарні властивості. Для виготовлення литих деталей такі сталі були малоприсадкованими.

Позитивною властивістю хромоалюмінієвих сталей з низьким (< 0,1%) вмістом вуглецю є їх висока стійкість при високих температурах не тільки в атмосфері повітря, але і в середовищах інших газів.

Як ливарний матеріал для виготовлення деталей, які працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ, в останні роки використовують недорогі і недефіцитні хромоалюмінієві сталі. Ці сталі мають у своєму складі значну кількість хрому і алюмінію, елементів, які суттєво знижують теплопровідність металу і сприяють утворенню крупного первинного зерна. Таку структуру неможна змінити ніякими режимами термічного оброблення.

Нові безнікелеві жаростійкі сталі можуть бути використані для виготовлення литих деталей в теплоенергетиці, чорній металургії, хімічній і інших галузях промисловості. Використання деталей, виготовлених з цих сталей, на теплових електростанціях (насадки пальників, форсунки, газові сопла тощо) дозволяє в 4,6 разів продовжити термін їх служби.

Хромоалюмінієві сталі (сталі Корпілова), головним чином застосовують у вигляді стрічки і дроту, що використовується в якості нагрівальних елементів побутових приладів, печей, реостатів і окалиностійких труб і арматури. Вони мають високий омичний опір в широкому інтервалі температур.

Для більшості зубчастих передач автомобілів, тракторів, літаків, верстатів і інших машин використовують хромоалюмінієві сталі з молібденом (38ХМЮА, 38Х2МЮА).

Нагрівальні елементи, як і жаростійкі сталі, працюють в зоні підвищених температур. Тому для конструювання електропечей також використовують хромоалюмінієві сталі. Вони можуть використовуватись до температури 1200 °С.

Хромоалюмінієві сталі добре працюють в окислювальній атмосфері, а також в суміші окису вуглецю і вуглекислого газу, в сірчистому газі, в сірководні, аміаці, при умові, що ці гази є сухими.

Отже, так як хромоалюмінієві сталі набули велике розповсюдження, частково через необхідність економії нікелю, але головним чином через те, що деякі сталі цього типу мають більш високу окалиностійкість, ніж нікелеві сплави. Тому, через це необхідно досліджувати і сприяти розвитку хромоалюмінієвих сталей.



Слєпцова А.Б.  
(НТУУ «КПІ»)

## ПРИЧИНА ЛАМКОСТІ ВИСОКОКРЕМНИСТОГО ФЕРИТНОГО ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

У другій половині минулого сторіччя в литих деталях вуглецеву сталь практично витіснив не менш надійний, але більш дешевий і технологічний феритний високоміцний чавун з кулястим графітом. По показниках ударної в'язкості такий чавун, що містить менше 2% кремнію, близький до низьковуглецевої сталі. Однак з підвищенням вмісту кремнію від 2,0 до 3,5% ударна в'язкість високоміцного чавуну зменшується з 1000...1400 до 150...200 кДж/м<sup>2</sup> (рис. 1), тобто в 5...7 разів. Також відомо, що з підвищенням вмісту кремнію 1,0% до 3,0% температура переходу в'язкого механізму поширення тріщини в ламкий механізм руйнування такого сплаву підвищується від 0°C до +50°C.

Наукове пояснення подібного різкого зниження показників якості чавуну в технічній літературі відсутнє.

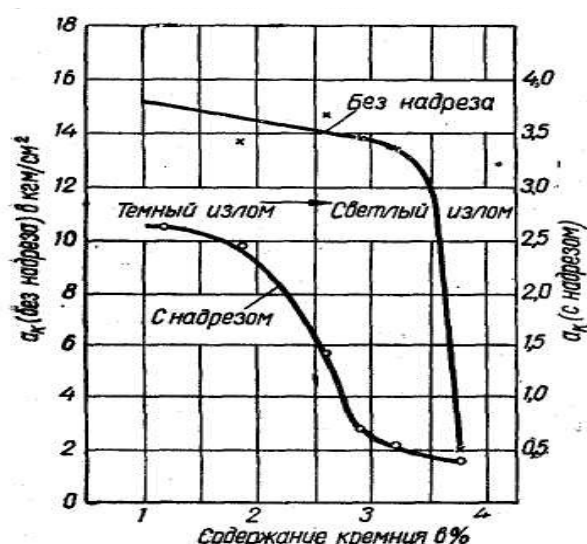


Рис. 1 – Вплив кремнію на ударну в'язкість феритного чавуну з кулястим графітом

В ливарних цехах використовують один із двох технологічних варіантів виробництва феритного чавуну з кулястим графітом. Перший: рідкий метал модифікують металічним магнієм або нікель-магнієвим сплавом, а ледебуритну евтектику і перлітну матрицю в структурі перетворюють в кулястий графіт і ферит термічною обробкою виливків. Другий: рідкий метал модифікують феросиліцій-магнієвим сплавом, іноді з додатковим модифікуванням феросиліцієм. В результаті необхідна графіто-феритна структура чавуну досягається в литому стані без термічної обробки, однак виникає ризик перебільшення максимально допустимого вмісту кремнію в сплаві.

Аналіз хімічного складу і мікроструктури чавуну аварійно зруйнованої деталі свідчить про другий технологічний варіант його виготовлення. Двофаз-

на графіто-феритна структура мала б забезпечити високу ударну вязкість і в'язкий механізм поширення руйнівальної тріщини в високоміцному чавуні. Однак, при фактичному підвищеному до 3,2 % вмісті кремнію, квазів'язкий механізм руйнування деталі змінився на ламкий з характерними для такого механізму ділянками сколювання.

Природна ламкість окремих ливарних сплавів пояснюється присутністю в їх металічній матриці твердої ламкої фази типу хімічного з'єднання чи неметалічного включення негативної гострокутної форми. Загострені кінцівки таких фаз є концентраторами пікових напруг під час ударних навантажень і потенційним місцем зародження і наступного поширення руйнівальної тріщини.

По результатам досліджень встановлено, що однією з причин ламкого руйнування є викривлення атомно-кристалічної будови за рахунок надлишкового легування фериту кремнієм і появи додаткових дислокацій в сплаві, що призводить до підвищення міцності і твердості з одночасним зниженням пластичності і ударної в'язкості чавуну. Однак головною причиною є поява в двофазній ферито-графітній структурі чавуну додаткової висококремнистої (8...12% Si) фази типу  $Fe_3Si$  у вигляді тонких загострених голок. Подібні голчасті включення в процесі екстремальних ударних навантажень є концентраторами пікових напруг, пришвидшують зародження тріщини і формують потенційний маршрут наступного аварійного поширення тріщини на весь переріз литої деталі.

**Тошева О.Ю., Чайковський О.А.**  
(НТУУ «КПІ»)

### **ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЮВЕЛІРНИХ ВИЛИВКІВ**

Технічний прогрес в ювелірній та стоматологічній промисловості в загальному визначається за якістю та експлуатаційними характеристиками основних деталей, які виготовляються на даний час із сплавів благородних металів.

В загальному, підвищення якості виливків та зменшення браку залежить від правильного, достовірного та ефективного проведення проектування методів лиття, термічної обробки та можливості створення та використання систем автоматизованого проектування.

У рамках магістерської роботи поставлена задача дослідити вплив технологічних факторів на утворення дефектів ювелірних виробів. Оскільки виконання досліджень із сплавів дорогоцінних металів є досить дорогим, то було вирішено проводити досліди на сплавах-імітаторах, а саме латуні.

Оскільки важливим фактором є якість шихтових матеріалів, то було проведено хімічний аналіз шихтових матеріалів, які використовуються на підприємстві при виробництві виливків.

З загальної кількості шихти було вибрано 3 зразки:

1 зворот власного виробництва (елементи ливникової системи – стояки з вже відлитого блоку);

2 безпосередньо шихта, яка закупується підприємством;

3 елементи ливникової системи, партія якої була віднесена до браку.

Згідно отриманих результатів видно, що хімічний склад відповідає таким маркам латуні:

1-й зразок ЛС59-1

2-й зразок Л63

3-й зразок Л63.

Досліди проводились на підприємстві, де використовувалось таке обладнання: плавильна піч УПІ-120-2, прожарювальна піч виробництва фірми «Рундист», формувальна машина Кауа Cast. Закуплено термопари типу ХА, датчик для визначення показань.

У роботі досліджено процес виготовлення воскових моделей та блоків моделей, процес формування, прожарювання форм та заливання металу. Під час проведення дослідів фіксувалась температура металу під час плавки та перед заливанням його у форму, також час проведення дослідів.

Після проведення дослідів визначали:

1. Якість поверхні виливків.

2. Наявність поверхневих дефектів.

3. Побудовано відповідні залежності.

Після обробки результатів визначені рекомендації щодо параметрів та умов процесу виготовлення виливків із сплавів благородних металів у ювелірній промисловості.

**Верес І.А., Соболюк О.В., Федоров Г.Є.,**

**Платонов Є.О., Ямшинський М.М.**

**(НТУУ «КПІ»)**

## **ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОСТІЙКИХ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ**

Технологічні й експлуатаційні властивості жаростійких сталей визначаються вмістом у них хрому, алюмінію, вуглецю, титану, кремнію, марганцю й інших елементів.

Поліпшити технологічні й експлуатаційні характеристики залізохромистих сплавів можна легуванням їх алюмінієм та додатковим обробленням їх титаном, молібденом, ванадієм й іншими хімічними елементами.

Основним завданням є визначення оптимального співвідношення хрому й алюмінію, та вуглецю і титану, що забезпечує задовільні ливарні й механічні властивості й високі експлуатаційні характеристики.

Сталі з високим вмістом хрому мають крупнокристалічну будову, що не може бути змінена будь-якими режимами термічного оброблення, тому їх міцнісні характеристики при кімнатних температурах набагато гірші, ніж сталей із дрібним зерном.

Збільшення концентрації хрому в сталі змінює структуру: так після додавання більше 25% хрому сталі стають повністю феритними, при цьому спостерігається зростання зерен від 87 до 120 мкм внаслідок зниження теплопровідності металу під час кристалізації. Підвищення вмісту хрому до 35% збільшує кількість карбідів, що призводить до деякого подрібнювання зерна. При цьому виникає ймовірність появи  $\sigma$ -фази, що являє собою інтерметалідну сполуку типу FeCr.

Збільшення вмісту алюмінію до 3% сприяє зростанню зерен фериту від 69 до 87 мкм внаслідок наступного зниження теплопровідності металу, при цьому спостерігається деяке збільшення кількості неметалевих включень.

Встановлено, що збільшення концентрації хрому значною мірою знижує опір розриванню всіх досліджених сталей внаслідок росту кількості шкідливих домішок і карбідів та їхньої коагуляції.

Відомо, що додавання в сталі навіть невеликої (0,1...0,2%) кількості алюмінію сприяє підвищенню тимчасового опору розриванню внаслідок його високої розкиснювальної здатності й утворення тугоплавких дрібнодисперсних сполук (оксидів, нітридів), які є додатковими центрами кристалізації, подрібнюють структуру металу під час первинної кристалізації та поліпшують його властивості.

Підвищення тимчасового опору розриванню хромистих сталей відзначено після додавання в них до 2,0% алюмінію, але необхідна його кількість із погляду міцності металу зменшується з підвищенням у сталі вмісту хрому.

Підвищення концентрації хрому та алюмінію зменшує ударну в'язкість досліджених сталей внаслідок утворення грубозернистої структури, збільшення кількості домішок, росту і коагуляції карбідів.

Із збільшенням у сталі вмісту хрому, зростає кількість феритної складової структури, що знижує твердість металу.

Однак з підвищенням вмісту хрому в сталі більше 25% твердість знову зростає, що можна пояснити підвищенням ступеню легування фериту хромом, ростом кількості карбідів хрому й утворенням інтерметалідних сполук.

Незначні добавки алюмінію (0,5...1,5%) мало змінюють твердість сталей із хромом, однак їх підвищення сприяє збільшенню твердості хромистих сталей і тим інтенсивніше, чим більше хрому в сталі.

Комплексне дослідження впливу хрому та алюмінію на технологічні властивості жаростійких сталей дало можливість рекомендувати як покращений варіант ливарного матеріалу для виготовлення литих деталей, які працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ – залізохромоалюмінієвий сплав, такого складу, %: C = 0,30...0,40; Cr = 25...32; Al = 1,2...3,0; Si <1,0; Mn <0,8; P <0,025; S <0,025.

**Гарячий М.О., Радченко К.С., Ямшинський М.М.**

*(НТУУ «КПІ»)*

## **ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ НІТРИДОМ ТИТАНУ ТА БОРИДОМ ТИТАНУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ХРОМО- МАРГАНЦЕВОГО ЧАВУНУ**

Литі деталі насосів для перекачки морської чи річкової води, робочі органи по переробці сировини у харчовій промисловості працюють з водою з різним вмістом солей та дрібних часток у кислому та лужному середовищах та вимагають високих показників гідроабразивної зносостійкості.

Для деталей устаткування, працюючого в умовах інтенсивного ударно-абразивного зношування, у вітчизняній і зарубіжній практиці використовуються зносостійкі чавуни ІЧХ28Н2, ІЧХ15М3, “нихард” і ін. Високолеговані білі чавуни для виливків посідають одне з перших місць серед чавунів із спеціальними властивостями.

Проте легування дефіцитними і дорогими елементами (Мо, W, V, Ni тощо) обмежує, а у ряді випадків, і виключає можливість їх широкого застосування. У вітчизняній та зарубіжній практиці накопичено значний досвід по використанню зносостійких матеріалів, що працюють у гідро- абразивному середовищі, економнолегованих хромомарганцевих та високо хромистих чавунів. Але ці сплави мають відносно невисокі зносостійкість та механічні властивості, мають здатність утворювати тріщини під час твердіння і термічного оброблення. Тому досить актуальним є дослідження процесів легування, мікролегування, модифікування, термічного оброблення та технологічних процесів виготовлення виливків.

В роботі проводяться дослідження впливу легування нітридом титану та боридом титану на технологічні та експлуатаційні властивості хромо-марганцевого чавуну.

Були виготовлені технологічні зразки для дослідження технологічних властивостей легованного чавуну, проведені дослідження твердості, планується дослідження мікротвердості та гідроабразивної зносостійкості.

**Ступаченко М.В.\*, Затуловський А.С.\*\***

*(\*НТУУ «КПІ», \*\*ФТІМС НАН України)*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ШАРІВ В БІМЕТАЛІ СТАЛЬ–ЛКМ ПРИ ПІЧНІЙ НАПЛАВЦІ**

Композиційні матеріали вже давно зарекомендували себе як успішний антифрикційний матеріал для вузлів, що працюють у складних режимах тертя ковзання. Особливо ефективно застосовуються біметалічні литі композиційні

матеріали (ЛКМ), що складаються з міцно зчеплених металевих шарів. Біметалічні ЛКМ системи сталь – бронза на сьогоднішній момент є не просто заміниками дефіцитних дорогих кольорових сплавів, але й унікальним промисловим матеріалом по комплексу властивостей.

У рамках магістерської роботи поставлена задача дослідити процеси формування й структуроутворення перехідного шару біметалів з метою покращення стійкості та робочих характеристик виробу.

Дослідження проводили за допомогою мікрозондового рентгенівського аналізу, металографічних досліджень.

У процесі досліджень була встановлена наявність дифузії заліза, марганцю й кремнію зі сталевого шару в мідний сплав матриці ЛКМ (БрОЦС 5-5-5, БрАЖ 9-4), а із матриці ЛКМ і бронзи – мідь, олово, алюміній.

Дослідження процесу консолідації біметалічних матеріалів типу сталь – ЛКМ показало, що структура зони консолідації шарів сталі та литого композиційного матеріалу формується як в твердо-рідкій області, так і в області твердофазної дифузії. На процес формування перехідних структур зони консолідації біметалу активний вплив здійснює вуглець, джерелом якого є перлітні включення сталі.

У результаті дослідження процесів структуроутворення перехідного шару біметалічних матеріалів систем сталь – мідний сплав і сталь – ЛКМ, були вивчені й установлені закономірності утворення консолідуючого шару, які є основою для розробки технологічних режимів твердо-рідкої консолідації біметалічних ЛКМ-виробів триботехнічного призначення.

## 2 РОЗДІЛ. ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ТА ПРОТИПРИГАРНІ ПОКРИТТЯ

Артемьев В.В.  
(НТУУ «КПІ»)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ С ЛСТ

Комплекс работ по данной теме выполнялся под руководством доктора технических наук, профессора А.П. Семика коллективом сотрудников в составе: А.В. Степаненко, В.А. Швец, М.И. Куриленко, Р.М. Плющ.

Применение технических лигносульфатов (ЛСТ) в составах формовочных и стержневых смесей началось в 30-е годы вначале как заменителя декстрина, льняного масла и т. п., а затем и в качестве самостоятельного связующего. По объёму применения в качестве связующих материалов ЛСТ занимают в литейном производстве третье место после глины и жидкого стекла. Их применяют для формовки по-сырому, по-сухому, в жидкоподвижных и сыпучих ХТС, противопопригарных красках, в качестве пластификаторов.

Смеси с ЛСТ недорогие, имеют отличную выбиваемость, уплотняемость и регенерируемость. Кроме того, ЛСТ как связующий материал является биологически разлагаемым, т.е. экологически чистым биополимером. При использовании смесей с ЛСТ обеспечиваются хорошие санитарно-гигиенические условия труда в литейном цехе.

Однако в сложившейся экономической ситуации производство ЛСТ осталось за пределами Украины. В данной ситуации целесообразными представляются несколько направлений исследований:

а) разработка способов повышения стабильности свойств ЛСТ, и в первую очередь, улучшения связующей способности при тепловой обработке, что должно предопределять снижение их расхода;

б) поиск местных органических связующих материалов и сырьевой базы для их производства;

в) снижение расхода или полная замена токсичного отвердителя ЛСТ – соединений шестивалентного хрома, в ХТС;

г) расширение области использования связующего, за счёт увеличения горячей прочности формовочных смесей для стального литья.

Одним из способов повышения связующей способности ЛСТ является обработка их поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Мы выполнили поиск биоразлагаемого ПАВ, который вырабатывался бы в Украине. Проведенный нами анализ ПАВ, выпускаемых в настоящее время в Украине для технических целей, позволил отобрать ряд веществ для исследования их влияния на прочностные свойства смесей с ЛСТ. Добавки указанных

биоразлагаемых ПАВ позволяют в 1,7...2,0 раза повысить удельную прочность ЛСТ.

Изучена возможность повышения прочности лигносульфонатов при добавке химических реагентов, которые по характеру своего воздействия на исходный материал являются осушителями, окислителями и комплексообразователями.

Наилучшие результаты были получены при совместном воздействии на смесь окислителей и комплексообразователей (т.е. комплексного модификатора). Окислители и комплексообразователи подбирались согласно результатам предварительного исследования их влияния на прочность и гидрофобность смесей. Таким образом, добавка комплексного модификатора в формовочные и стержневые смеси, отверждаемые тепловой сушкой, повышает прочность смесей, снижает время теплового отверждения и увеличивает гидрофобность смесей.

Нами была поставлена задача разработки добавок, позволяющих отказаться от хромового ангидрида при отверждении ХТС с ЛСТ или же снизить его содержание до минимума. Работы проводились по трём направлениям:

- разработка в качестве отвердителей (инициаторов поликонденсации) веществ типа химических осушителей;
- поликонденсация лигносульфонатов через сложные эфиры, полученные в результате обработки ЛСТ промышленными кислотами;
- разработка комплексного отвердителя типа “окислитель-комплексообразователь”.

По результатам исследований получен патент Украины.

Наравне с большими преимуществами ЛСТ, они имеют определённый недостаток – низкую термостойкость и как результат незначительную прочность при температуре заливки жидкой стали. В наших исследованиях была поставлена задача создать формовочные смеси на основе кварцевого песка, способные спекаться (керамизироваться) при температурах заливки жидкого металла.

Спекание смеси (песка 90% и добавки 10%) при разных температурах показало нарастание процесса керамизации смеси с повышением температуры и получение прочного спёкшегося монолита при 1500 °С. Синтезированная добавка образовала с песчинками каркасную структуру с мостиковыми связями. Таким образом, возможно использовать оксидо-силикатную систему определённого состава в качестве керамизирующей добавки для кварцевого песка.

Выполненные исследования позволяют считать связующее ЛСТ и формовочные и стержневые смеси с ним перспективным материалом для литейного производства Украины.



**Берегова О.С., Постіженко В.К.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

При виготовленні виливків відповідального призначення типу лопаток ГТД, які отримують методом лиття за моделями, що витоплюються, висувуються підвищені вимоги до формувальних матеріалів, зокрема до модельних композицій.

Існує понад 200 різних модельних сумішей, але на практиці застосовується не більше 10-15 вдало підібраних композицій.

Розробка та оптимізація властивостей модельних матеріалів є важливим питанням ливарного виробництва, актуальність якого визначається значними матеріальними і часовими затратами на виготовлення виливків з дорогих жаростійких і жароміцних сплавів на основі хрому і нікелю методом лиття за моделями, що витоплюються.

Найбільш перспективними для виготовлення складних високоточних виливків вважаються модельні композиції на основі легкоплавких парафіноподібних продуктів нафтопереробки з додаванням складних низькотемпературних полімерів. Такі модельні суміші є недефіцитними, недорогими, мають високі технологічні показники, не вимагають кардинальної зміни основної технологічної схеми виготовлення моделей.

На основі аналізу існуючих модельних матеріалів, їх властивостей, переваг та недоліків були вибрані компоненти нової суміші, після чого була проведена серія експериментів для визначення оптимального складу. Завдяки обробці даних експериментів за допомогою математичних методів числового аналізу, ми встановили оптимальний склад модельної суміші і вплив кожного компоненту на фізико-механічні властивості суміші (усадка, міцність та теплотривкість). Також побудовані номограми, за допомогою яких ми можемо по заданим технологічним параметрам вибирати необхідний склад суміші.

Операція приготування модельного складу є, безумовно, однією з найвідповідальніших, адже якість модельного складу в значній мірі визначає точність геометричних розмірів і чистоту поверхні готової моделі. Виготовлення модельної композиції являє собою розплавлення вихідних свіжих продуктів в чітко визначеній послідовності і при постійному перемішуванні з наступним охолодженням до необхідної температури. У даному випадку для забезпечення гомогенізації розплаву парафіну та церезину, а також повного розчинення більш тугоплавких полімерів, які додаються у якості пластифікатора і зміцнювача для зміни фізичних і механічних властивостей суміші (в'язкість, твердість, усадка, теплостійкість і т. п.), необхідно підібрати оптимальний температурно-часовий режим виготовлення суміші.

В результаті проведених експериментів було визначено, що дану суміш слід перегрівти на 50 °С вище температури плавлення, після чого вводити тугоплавкі полімери, постійно перемішуючи.

При приготуванні модельної пасти в модельний склад вводиться 10...40% повітря. Вміст повітря має значний вплив на фізико-механічні та реологічні властивості модельної композиції. Бульбашки повітря виконують роль наповнювача, завдяки якому моделі менш схильні до утворення усадкових раковин та утяжин, стають міцнішими, підвищується теплотривкість модельної суміші, крім того паста краще заповнює прес-форму при нижчих зусиллях пресування.

Готову модельну композицію необхідно перевести у пастоподібний стан, для чого існують спеціальні установки. При цьому необхідно чітко контролювати температуру модельного сплаву, швидкість та час перемішування.

У нашій роботі ми досліджували, як змінюються фізико-механічні та реологічні властивості модельної композиції у залежності від процентного вмісту повітря і ступеня його розподілення по всьому об'єму готової моделі.

Оптимальною кількістю повітря для модельної композиції «ВЕЛЕН-1» знаходиться в діапазоні 10...12%.

Таким чином задача покращення експлуатаційних властивостей модельного складу для виготовлення моделей особливо складної конфігурації вирішується за рахунок: оптимізації процентного співвідношення компонентів; забезпечення температурно-часових параметрів виготовлення модельної суміші; регулювання кількості повітря модельної суміші за рахунок зміни часу, температури та швидкості перемішування модельної пасти в установках з лопатевими мішалками.

Модельна суміш «Велен» та запропоновані технологічні вирішення покращення її властивостей знайшли широке застосування на вітчизняному підприємстві «ЗОРЯ-Машпроект» та можуть бути реалізовані на існуючому обладнанні без додаткових фінансових вливань.

**Горносталь Ю.В.\*, Шинський О.Й.\*\***  
*(\*НТУУ «КПІ», \*\*ФТІМС НАН України)*

## **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ АРМОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ АВТОКЛАВНИМ СПОСОБОМ**

Армування пінополістиролових моделей має наступні цілі. В першу чергу, орієнтуючись на автоматизування технологічного процесу методу ЛГМ, дослідження направлені на зменшення часу спікання пінополістиролових моделей, що призведе до збільшення кількості виготовлених моделей, а отже й виливків. По-друге, це виготовлення пористих пінополістиролових моделей – для газифікування даних моделей потрібно менше часу, відбувається інтенсифікація процесу заповнення форми металом. І по-третє, як частковий випадок – для отримання армованих виливків. Введення армуючої фази (АФ) в піно-

полістиролову модель з наступним переносом у виливок дозволяє створити нові литі конструкції, які володіють комплексом функціональних властивостей, раніше не властивих традиційним ливарним матеріалам, а саме: підвищення міцнісних характеристик ЛАК, зміцнення поверхневого шару литих конструкцій або підвищення його спеціальних властивостей, зменшення маси ЛАК при збереженні або покращенні основних міцнісних характеристик.

Дана робота направлена на визначення оптимального часу спікання пінополістиролових моделей з вставками. Як вставки використовували керамічні, сталеві та прутки з мідного сплаву діаметром 4 мм. Модельний зразок розмірами 100\*40\*20 мм виготовляли з пінополістиролу щільністю 25 кг/м<sup>3</sup>, з середнім розміром гранул 0,40 мм. Прес-форма, виготовлена з силуміну, мала товщину стінки 20 мм. У пінополістиролову модель вставлялися три термопари по ширині моделі. При спіканні по стандартному режиму (цикл виготовлення 7 хв 30 с) моделей автоклавним способом паралельно проводили термометрування процесу за допомогою універсального пристрою вимірювання температури (з автономним живленням) з частотою фіксації температури 1 вимір за секунду.

Результатом дослідів є графіки залежності температури пінополістиролової моделі від часу її спікання в автоклаві при використанні вставок у вигляді прутків різної кількості та різного матеріалу (кераміка, мідний сплав, сталь). При порівнянні досягнення певної температури (95 °С) моделлю без вставок та армованої моделі, дослідним шляхом було встановлено, що армування моделі вуглецевою сталлю Ст3 (0,2% С) завдяки більшій теплопровідності (54 Вт/(м\*К)) та теплоємності (0,45 Дж/(кг\*К)) матеріалу зменшило час спікання моделі (досягнення вибраної постійної температури) в 1,32 рази. Армування моделі бронзою (теплопровідність 47 Вт/(м\*К), теплоємність 0,28 Дж/(кг\*К)) майже не змінило час спікання, в той же час при армуванні моделі алундовими прутками (теплопровідність 22 Вт/(м\*К)), спостерігається збільшення часу спікання в 1,17 рази, хоча армування керамічними вставками моделі в основному використовується для досягання наступної мети – зменшення маси вилівка та скорочення кількості використаної дорогої сировини. В той час коли армування сталлю та міддю використовують для збільшення фізико-механічних властивостей виливків, в першу чергу їх міцності.

Після обробки даних отримано номограми – нагрівання армованої моделі та охолодження, за допомогою яких можна, виходячи з матеріалу, кількості армуючої фази визначити необхідний час для спікання армованої моделі.

Гудзовська Н.С., Сиропоршнєв Л.М.  
(НТУУ «КПІ»)

## РОЗРОБКА КОМБІНОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ

У ливарному виробництві широко використовується технологічний процес лиття за пінополістироловими моделями, що газифікуються. Цей метод має ряд переваг, а саме відсутня операція видалення моделі, використання нероз'ємної форми, зниження трудомісткості виготовлення виливків.

При виробництві виливків зі складними внутрішніми порожнинами не вдається отримати бездефектну внутрішню порожнину із-за складності ущільнення сухого наповнювача, тому необхідно використовувати комбіновані газифіковані моделі. Найбільш розповсюдженим методом виробництва газифікованих моделей є автоклавний. Враховуючи малу конструкційну міцність пінополістиролу, виникає необхідність в розробці стрижневих сумішей з використанням вогнетривких наповнювачів низької щільності. Для виготовлення стрижневих сумішей, при виробництві якісних комбінованих пінополістиролових моделей, найефективнішим може бути спучений перліт. Обробка перегрітою парою приводить до вологонасичення, яке складає 0,2...1,03 %. Вологонасичення стрижнів знижує їх міцнісні характеристики. Гідрофобність стрижневих сумішей залежить від природи зв'язувального компонента. Враховуючи низьку конструкційну міцність пінополістиролу, виникає необхідність в розробці гідрофобних стрижневих сумішей з використанням вогнетривких наповнювачів низької щільності – спучений перліт, але він має низьку теплопровідність і твердіння зразка відбувається тільки по поверхні, тому є необхідність в застосуванні матеріалу, який має високу теплопровідність і гідрофобність, в якості такого матеріалу найефективнішим може бути графіт.

Метою роботи є дослідження впливу графіту на характеристики твердіння стрижневої суміші для подальшого використання її в комбінованих пінополістиролових моделях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Дослідити вплив кількості графіту на міцність стрижнів.
2. Визначити оптимальний режим спікання стрижнів з різним вмістом кількості графіту.
3. Визначити механічні властивості стрижневої суміші з графітом.
4. Дослідити вплив парочасової обробки стрижнів з графітом на їх міцність та вологонасичення.
5. Оптимізувати склад стрижневої суміші з графітом на основі спученого перліту.

Для дослідів використовували зразки-«вісімки». Виготовлені зразки просушуються в лабораторній електропечі опору моделі СНОЛ-1,6.2,5/11-142 при температурах в межах 150...300 °С з часом витримки від 15 до 60 хв.

При підвищенні температури та кількості графіту міцність стрижнів зростає. При температурі 200 °С міцність зростає від 0,03 МПа до 0,3 МПа, з вмістом графіту 5%, і від 0,05 МПа до 0,26 МПа з вмістом графіту 10%, при

температурі 250 °С досягає свого максимуму при значенні 0,3 МПа, а потім падає до 0,15 МПа, в залежності від часу витримки. При температурі печі вище 250 °С відбувається термодеструкція зв'язуючого з виділенням газоподібних речовин. Із цієї причини нагрівання понад 250 °С не рекомендовано. Цим і пояснюється подальше падіння міцності.

Мінімальною міцністю (0,03 МПа) володіє суміш з вмістом графіту 5%, при спіканні в печі, температура якої 200 °С.

Встановлено, що обробка перегрітою парою призводить до незначного вологонасичення, яке в залежності від часу витримки в автоклаві (2...8 хв) становить 0,23...0,70 % для суміші без графіту і 0,18...0,58 % для суміші з графітом.

При обробці парою в автоклаві стрижнів з графітом їх міцність зростає після 2 хв обробки парою на 9,3 % і надалі поступово зростає до 30 %.

Оптимізували склад та технологічний режим сушіння стрижневої суміші з графітом на основі спученого перліту, оптимальний склад такий: суміш з вмістом зв'язуючого 20 об.% концентрацією 30% і 10% графіту, витримка в печі температуру 250 °С протягом 40 хв.

**Думчева К.Ю., Лютий Р.В.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

### **СУМІШІ З ОРТОФОСФОРНОЮ КИСЛОТОЮ І СПОЛУКАМИ АЛЮМІНІЮ, ЯКІ ЗМІЦНЮЮТЬСЯ ПРИ НАГРІВАННІ**

Зміцнення форм та стрижнів у контакті з оснащенням має ряд переваг: підвищується точність, покращується якість поверхні, збільшується продуктивність праці.

Відомі два основні процеси: виготовлення стрижнів з холоднотвердних сумішей (ХТС) та виготовлення їх в гарячому оснащенні. Стрижні, виготовлені в гарячому оснащенні, завдяки високим значенням загальної, поверхневої міцності, газопроникності та низькій газотвірності переважають ХТС. Але процес не має великого поширення, зважаючи на обмежену кількість зв'язувальних компонентів, які б забезпечували високий рівень властивостей.

Відомо, що високу зв'язувальну здатність (забезпечення когезійної та адгезійної міцності в поєднанні з кварцовим наповнювачем) мають солі металів з ортофосфорною або сірчаною кислотами. Переважною в даному випадку є більш слабка і екологічно безпечна ортофосфорна кислота, при чому сам зв'язувальний компонент може бути синтезований безпосередньо у формі або стрижневому ящику завдяки хімічній взаємодії цієї кислоти та інших компонентів суміші.

Метою дослідження є розроблення формувальної суміші на основі неорганічних полімерних зв'язувальних компонентів, яка зміцнюється при нагріванні. Вирішувалися наступні задачі:

1. Визначення ряду хімічних матеріалів (солей металів), які можуть бути використані як готовий зв'язувальний компонент.

2. Дослідження особливостей взаємодії ортофосфорної кислоти із різними сполуками з метою синтезу зв'язувального компонента безпосередньо в суміші при її нагріванні.

3. Аналіз та вибір матеріалів або промислових продуктів, здатних до утворення неорганічної зв'язувальної системи.

4. Визначення фізико-механічних властивостей сумішей та оптимізація режимів їх зміцнення.

5. Лабораторні випробування досліджених сумішей.

Як показали дослідження, хорошу зв'язувальну властивість у поєднанні з кварцовим піском мають поліфосфат натрію та сульфат алюмінію. Після висушування протягом 1 години при 200 °С суміші з вказаними зв'язувальними компонентами мають міцність на стиск понад 1,5 МПа.

Для реалізації синтезу зв'язувального компонента безпосередньо у суміші при її нагріванні були вибрані такі матеріали як пил (або пудра) алюмінію, пил алюмінієвого шлаку та гідроксид алюмінію, які вводилися у суміш разом з ортофосфорною кислотою. Встановлено, що чим більшою є хімічна свобода алюмінію, тим інтенсивніше він реагує з кислотою, тобто у складній системі, якою є формувальна суміш, процеси відбуваються згідно основних закономірностей неорганічної хімії.

Алюмінієва пудра утворює холоднотвердну зв'язку з міцністю через 1 годину 0,3 МПа. Пил алюмінієвого шлаку, який містить алюміній у вигляді гідроксидів та більш складних сполук, зміцнює суміш при нормальній температурі протягом декількох годин (міцність через 24 години до 1 МПа). А гідроксид алюмінію забезпечує ще більш повільне зміцнення або твердіння суміші.

Натомість при нагріванні (200 °С протягом 1 години) міцність наступна: з пудрою алюмінію 0,99 МПа, з пилом алюмінієвого шлаку – 1,9 МПа при вмісті у суміші 5% даної речовини та 3% ортофосфорної кислоти.

Оптимальним вмістом ортофосфорної кислоти є 3...5%, температура зміцнення 150...200 °С. Термостійкість утвореного зв'язувального компонента є достатньою для заливання форм чавуном і сталлю, що доведено прямими лабораторними випробуваннями. Форми, виготовлені із досліджених сумішей заливали сталлю 20Л та 30Х25Ю2ТЛ при температурі 1560 °С. Якість поверхні виливків задовільна, що свідчить про відсутність фізико-хімічної взаємодії між компонентами форми і оксидами металу.

**Руденко О.Ю, Заяц А.О.**  
*(КТУ, м. Кривий Ріг)*

## **ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБРОБКИ РІДКОГО СКЛА УЛЬТРАЗВУКОМ**

Проблемою ливарного виробництва, окрім екології, залишається брак литва. При вітчизняному виробництві однієї тонни виливків зі сплавів чорних металів 50...100 кг бракованої продукції, тоді як оптимально одержувати 20...30 кг.

Проаналізувавши вітчизняний ринок та технології ливарного виробництва, автори зробили висновок, що брак литва треба контролювати ще на початкових операціях, а не при заливці металу у форми.

При оптимальному розгляді формувальної суміші та контролю її можливо зменшити брак.

Суміші поділяються на формувальні та стрижневі. Вони складаються з кварцового піску, формувальної глини, протипригарних і зв'язуючих добавок. Процентне відношення і якість складових у суміші залежить від виду литва. Формувальні та стрижневі суміші повинні володіти такими властивостями:

- пластичністю (добре формуватися);
- міцністю (не руйнуватися під дією рідкого металу);
- податливістю (не перешкоджати усадці виливка);
- вогнетривкістю (протистояти місцевому перегріванню);
- газопроникністю (пропускати газу).

Для досягнення цих властивостей доцільно використовувати у якості зв'язуючих добавок рідке скло.

Для поліпшення дії цього зв'язуючого можна провести обробку рідкого скла ультразвуком. Ультразвук являє собою механічні коливання пружного середовища, що мають однакову зі звуком фізичну природу, але відрізняються більш високою частотою, що перевищує прийнятну верхню межу чутності (понад 20 кГц).

В даний час накопичений багатий досвід щодо прискорення розчинення різних речовин за допомогою ультразвука.

Ультразвукові коливання забезпечують більш швидке і глибоке в порівнянні з іншими методами зниження концентрації розчиненого в рідині газу.

У порівнянні з традиційними методами ультразвукове очищення дозволяє:

- звести до мінімуму застосування ручної праці;
- провести очищення без застосування органічних розчинників;
- відносна нескладність технології;
- електрофізичні й електрохімічні методи завдяки своїм особливостям є дуже гнучкими, що дозволяють автоматизувати і механізувати технологічні процеси більш простими засобами;
- ультразвукове очищення має і такі переваги, як екологічність і безпека здійснюваного процесу.

Слід також зазначити, що вплив малих доз ультразвуку не завдає великої шкоди здоров'ю людини, а у великих дозах, щоб уникнути шкідливого впливу ультразвуку на людину, раціонально всі етапи процесу обробки автоматизувати і механізувати.

Обробка електрофізичними й електрохімічними методами різних матеріалів відбувається однаково. Але на продуктивність цих методів впливають уже не механічні, а фізичні і хімічні властивості матеріалів, наприклад теплопровідність при електроерозійній обробці або валентність при електрохімічній.

Для зменшення браку у ливарному виробництві потрібно придержуватися всієї технологічної схеми операцій формовки, де в свою чергу впливає на якість суміші рідке скло.

**Кеуш Д.В., Лютий Р.В.**

*(НТУУ «КПІ»)*

### **СУМІШІ ТЕПЛООВОГО ТВЕРДІННЯ З НЕОРГАНІЧНИМИ ПОЛІМЕРАМИ НА ОСНОВІ КВАРЦОВОГО НАПОВНЮВАЧА**

Форми і стрижні, які зміцнюються в контакт з оснащенням, забезпечують отримання якісних виливків підвищеної геометричної точності і з низькою шорсткістю поверхонь, а також мають високу поверхневу міцність. Для виготовлення таких форм застосовують як органічні, так і неорганічні зв'язувальні компоненти.

Оскільки основним зв'язувальним компонентом (ЗК) для виготовлення таких форм є синтетичні смоли, а їх використання є небажаним з екологічної точки зору, на провідні позиції можуть вийти такі зв'язувальні компоненти, як полівініловий спирт, рідке скло, фосфати.

Фосфатні неорганічні полімери отримують на основі кислотно-оксидних композицій, у яких кислотною частиною є ортофосфорна кислота, або фосфатні зв'язувальні компоненти. Суміші з такими полімерами, поєднуючи переваги сумішей з органічними компонентами і з рідким склом, не мають притаманних їм недоліків.

Відомий ряд холоднотвердних сумішей з алюмофосфатними, алюмохромофосфатними ЗК, які зміцнюються при додаванні оксидів металів (як правило заліза або магнію). Оксиди металів містяться у складі побічних продуктів різних виробництв (шлак, пил, окалина, тощо). Хімічний склад таких продуктів не є стабільними, а отже і властивості сумішей при їх використанні не завжди задовільні.

Для забезпечення стабільних властивостей суміші та підвищення якості виливків необхідно використовувати речовини постійні за хімічним складом.

В роботі поставлені і вирішені такі задачі:

1. Дослідження особливостей хімічної взаємодії оксидних матеріалів з ортофосфорною кислотою.



2. Визначення ряду природних матеріалів, які утворюють фосфатні ЗК безпосередньо у формі.

3. Дослідження фізико-механічних властивостей отриманих сумішей.

4. Лабораторні випробування суміші.

До найбільш поширених матеріалів, які використовують для приготування сумішей відносяться: кварцовий пісок, різні види глини, а також алюмосилікатні наповнювачі.

Теоретично оксиди кремнію та алюмінію, які містяться в цих матеріалах, здатні вступати з ортофосфорною кислотою в реакцію в інтервалі температур 250...350 °С. Нашими дослідженнями встановлено, що дійсно дана реакція відбувається, а продукти реакції мають зв'язувальні властивості. Але віднести утворені фосфатні полімери до кристалогідратів, на нашу думку, було б невірно, оскільки наявність хімічно зв'язаної води при такій температурі є малоімовірною. Зв'язок, скоріше за все, забезпечується за рахунок утворення дво- та тризаміщених ортофосфатів, які мають високу адгезію до зерен кварцового наповнювача. Таким чином, суміш, порівняно із традиційними металофосфатними сумішами, буде менш газотвірною.

В досліджуваних сумішах зв'язувальний компонент утворювали при взаємодії ортофосфорної кислоти та пилоподібного кварцу, або ортофосфорної кислоти та пірофіліту (це наповнювач алюмосилікатного класу). Наповнювачем сумішей був кварцовий пісок.

Із сумішей виготовляли стандартні циліндричні зразки, які зміцнювали при нагріванні до 250...350 °С. Вимірювали міцність на стиск та обсипаємість.

В результаті отримали високі показники міцності: при вмісті у суміші 3...4% ортофосфорної кислоти міцність становить від 2 до 3,2 МПа, обсипаємість не більше 0,3%. За основними властивостями суміші переважають ті, які використовують для виготовлення стрижнів у гарячому оснащенні.

З літературних джерел відомо, що фосфати алюмінію і кремнію, які містяться в нашій суміші, є стійкими до температур 1300...1500 °С, а отже суміш може бути придатною для сталевого литва.

За результатами дослідження властивостей визначено приблизний оптимальний склад: 2,5...5% пилоподібного кварцу (або пірофіліту), 2...4% ортофосфорної кислоти, решта – кварцовий пісок. Рекомендована температура зміцнення 250...300 °С, яка не перевищує значень, пропонованих для сумішей з органічними ЗК. Суміш може бути приготовлена у будь-якому поширеному типі змішувача, зокрема, у котковому.

Для лабораторного випробування була виготовлена форма, нижня півформа якої складалась із досліджуваної суміші, а верхня із звичайної піщано-глинястої. Форму заливали сталлю 20Л при температурі 1560 °С. Якість поверхні з боку дослідної півформи задовільна і краща, ніж поверхня з боку піщано-глинястої суміші, що може свідчити про відсутність фізико-хімічної взаємодії між металом і матеріалом форми.

В результаті проведених досліджень визначено, що зв'язувальна система може утворюватися у суміші, яка містить ортофосфорну кислоту і оксиди кре-

мнію чи алюмінію при нагріванні. Для утворення вказаної зв'язувальної системи придатними є поширені і доступні матеріали (кварцовий пісок, пилоподібний кварц і пірофіліт).

Утворені фосфати кремнію та алюмінію забезпечують високу загальну та поверхневу міцність формувальної суміші, а також мають достатню вогнетривкість для заливання форми сталю. Досліджені суміші можуть бути рекомендовані для виготовлення форм і стрижнів у гарячому оснащенні.

Проведені дослідження ставлять ряд нових запитань. Зважаючи на велику кількість різноманітних пісків на основі кварцу, які відрізняються вмістом глинястої складової, кількістю домішок, гранулометричним складом, предметом дослідження може бути вплив цих характеристик на властивості сумішей. Також цікаво було б дослідити можливість утворення сумішей з іншими (не кварцовими) вогнетривкими наповнювачами. Актуальною проблемою також є відновлюваність (тобто можливість використання звороту) сумішей. Відповіді на ці питання дадуть наші подальші дослідження.

**Кочешков А.С., Кириленко Г.Ю.**  
(НТУУ «КПІ»)

### **ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ГІПСОКРЕМНЕЗЕМИСТИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ З КОМБІНОВАНИМ ВОГНЕТРИВКИМ НАПОВНЮВАЧЕМ**

Відомо, що для кожного сплаву, враховуючи метод виготовлення ливарної форми, підбирають формувальні суміші з комплексом необхідних технологічних і термомеханічних властивостей. Не існує універсальних сумішей, тому необхідно постійно удосконалювати склад суміші та застосовувати її для виготовлення конкретної номенклатури виливків в умовах реального виробництва. Для отримання точних виливків із сплавів кольорових і благородних металів використовуються гіпсокремнеземисті формувальні суміші.

Для підвищення міцності нами запропоновано використовувати комбінований вогнетривкий наповнювач: шамот пиловидної фракції ШК-38, а для покращення газопроникності – річковий пісок марки ЗК<sub>4</sub>О<sub>1</sub>03. Кінцева мета – отримання високоякісних, точних виливків з найменшими енергетичними та матеріальними витратами.

Для досліджень був використаний високоміцний гіпс марки Г-10 (ГОСТ 26871-86), річковий кварцовий пісок марки ЗК<sub>4</sub>О<sub>1</sub>03, шамот марки ШК-38 (ТУУ 14.2-00191916-001:2005), вода. Тому метою досліджень стало: дослідження впливу комбінованого вогнетривкого наповнювача на властивості гіпсокремнеземистих формувальних сумішей.

Для контролю властивостей гіпсокремнеземистих формувальних сумішей використовували стандартні методики.

У проведеній серії експериментів були визначені основні властивості, а також була зроблена оптимізація складу гіпсокремнеземистих формувальних сумішей з комбінованим вогнетривким наповнювачем.

Визначено склад формувальної суміші, який забезпечує оптимальні властивості форми для отримання якісного виливка.

**Красінський В.В., Шаповал Й.М.**  
*(Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів)*  
**НОВІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ СКЛЕЮВАННЯ  
МЕТАЛІВ І СКЛА**

У зв'язку з широким застосуванням феноло-формальдегідних смол (ФФС) у промисловості і в побуті в даний час виникла необхідність в одержанні нових видів фенопластів, які мають високі фізико-механічні показники і універсальний комплекс властивостей, при експлуатації в різних умовах. Універсальність застосування феноло-формальдегідних матеріалів зумовлена широким температурним інтервалом їх затвердження і можливістю одержання різноманітних експлуатаційних характеристик матеріалів в залежності від призначення.

Феноло-формальдегідні полімери застосовуються як клейові матеріали, антикорозійні покриття і зв'язні для виготовлення прес-порошків. Розвиток галузі полімерних клеїв та захисних покриттів вимагає створення нових полімерних матеріалів із заданим поєднанням властивостей, в першу чергу, з підвищеною адгезійною міцністю, водо- та хімічною стійкістю, термостійкістю.

Широке застосування феноло-формальдегідні смоли знайшли в процесах склеювання скла і металу. Зокрема, при виготовленні електричних ламп розжарювання як зв'язне у клейовій мастиці, яка застосовується для з'єднання металевого цоколя зі скляною колбою, використовують новолакову феноло-формальдегідну смолу. Клейові композиції на основі ФФС поряд із значними перевагами (доступність сировини, дешевизна, легкість виготовлення лаку, хороші діелектричні властивості, добра хімічна стійкість) мають і суттєві недоліки – висока крихкість наповнених ФФС через пористість, недостатня адгезія до металу і скла. Тому проблема одержання нових і модифікації існуючих полімерних клейових композицій, що використовуються для склеювання металів і скла, є завжди актуальною з причини значного браку виготовлених електроламп.

Одним із напрямків оптимізації властивостей полімерних матеріалів є їх модифікація. Вона полягає у керованій зміні хімічної будови і фізичної структури полімерів. Зміна будови, складу і властивостей феноло-формальдегідних композицій досягається як структурним різноманіттям затверджувачів для них, так і легкістю їх хімічної модифікації завдяки наявності реакційно здатних груп.

Модифікація феноло-формальдегідних композицій з використанням епоксидіанової смоли та полімерів N-вінільного ряду забезпечує комплексне покращення властивостей “зшитих” фенопластів, як внаслідок утворення додаткових просторових сіток в резиті, так і у наявності в макроланцюзі полярних функційних груп. Нами підтверджена перспективність використання полівінілпіролідону (ПВП) та епоксидної смоли в композиціях з ФФС та їх позитивний

вплив на властивості феноло-формальдегідних композицій. Клеї на основі такої композиції характеризуються високими фізико-механічними та адгезійними властивостями. Також був встановлений механізм хімічної взаємодії між макромолекулами ФФС та ПВП, який забезпечує утворення матеріалу нової будови.

Показано, що модифікація новолакових ФФС полівінілпіролідом та епоксидною смолою створює умови затвердження композиції без уротропіну, що сприяє підвищенню адгезійних, міцнісних та електроізоляційних властивостей. Позитивний ефект модифікації полівінілпіролідом та епоксидною смолою проявляється в області концентрацій ПВП 0,5...1 % мас., ЕД-20 – 25...30 % мас. в присутності 1 % мас. N,N-диметиланіліну, зокрема адгезійна міцність зростає в 4 рази, ударна міцність, міцність при статичному згинанні, поверхнева твердість та питомий об'ємний електричний опір зростають в 1,5...2,5 рази. Зміна властивостей в значній мірі залежить від умов затвердження.

Методом математичного планування виведені лінії рівних значень властивостей залежно від композиційного складу та визначені коефіцієнти регресії, що передбачає одержання матеріалу з прогнозованими властивостями.

**Лысенко Т.В., Худенко Н.П., Степаненко А. В.**  
*(ОНПУ, м. Одеса)*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЕСЧАНЫХ СТЕРЖНЕЙ**

Применяя высококачественные противопригарные покрытия песчаных стержней, можно существенно повысить чистоту поверхности отливок, улучшить товарный вид литья, сократить трудовые затраты и оздоровить условия труда рабочих на зачистных операциях. Одновременно снижается газонасыщенность металла отливок. Противопригарное покрытие создает изоляционный слой между заливаемым металлом и поверхностями песчаных стержней, который не смачивается жидким металлом и препятствует проникновению металла в поры стержня.

Литейные противопригарные покрытия обычно наносятся на песчаные стержни в виде красок, представляющих собой суспензии порошкообразного наполнителя, связующего компонента и стабилизатора, равномерно распределенных в дисперсионной среде.

В последнее время широкое распространение получила технология отливки из легких сплавов крупногабаритных деталей (головок и блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания и т.п.) литьем непосредственно в кокиль, а также с применением низкого давления для заливки металла. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение в этих условиях пес-

чанных стержней вызывает значительное усиление проникновения металла в поры стержней, а, следовательно, и увеличение пригара на оформляемых ими поверхностях, и приводит к браку отливок.

Исходя из анализа литературных данных и сформулированных задач, приняты для исследований четыре состава противопригарных покрытий. Покрытия приготовлены на основе смеси циркона и дистенсиллиманита, отличающиеся связующими и наполнителями.

Одним из важных параметров противопригарных покрытий является значение коэффициента теплопроводности. Теплопроводность покрытий оказывает большое влияние на заполняемость формы жидким сплавом, а также на ход формирования отливки.

Коэффициенты теплопроводности покрытий определялись по способу погружения, предложенному А.И. Вейником для кокильных красок.

По полученным данным, в соответствии с методикой определялось точное значение коэффициентов теплопроводности для каждого из четырех исследуемых покрытий.

Это значение теплопроводности сопоставлялось с величиной, вычисленной по формуле, являющейся приближенным уравнением теплопередачи через слой покрытия и образец (между образцом и жидким металлом) без учета неравномерности распределения температуры в сечении образца.

Затем оценивалась относительная погрешность приближенного определения коэффициента теплопроводности.

Для проверки эффективности аналитического представления экспериментальной информации была использована система MathCAD (демонстрационная версия). Система MathCAD позволяет проводить линейную интерполяцию, сплайн-интерполяцию набора экспериментальных точек, а также регрессионный анализ. Благодаря использованию регрессионного анализа была повышена точность определения результатов эксперимента за счет более качественной обработки результатов.

Как следует из сравнения коэффициентов теплопроводности, минимальной теплопроводностью ( $\lambda_{\text{покр}} = 0,115 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ ) обладает покрытие, наполнителем в котором служит серебристый графит.

Исследуемые покрытия имеют значительно более низкое значение коэффициента теплопроводности по сравнению с покрытиями на основе талька и мела, что способствует созданию благоприятных условий кристаллизации отливки вблизи поверхностей, оформляемых окрашенными стержнями.

Самарай В. П.\*, Мірза О.І., Непомнящий Д. М., Штефан А. В.\*\*

(\* Київський міжнародний університет, м. Київ,

\*\* Інститут екології та медицини, м. Київ)

## ТРИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРОУЩІЛЬНЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ І ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПРОТЕЗІВ

В ортопедичній стоматології, як в знімному так і в незнімному протезуванні, широко використовуються литі металеві каркаси, які відіграють дуже важливу роль в стоматологічних протезах. При їх відливанні можуть утворюватися різноманітні дефекти (пригар, шорсткість, засмічення, обвал, розмив форми, прорив металу, недолив, розпір, піддутість, складчатість, наріст, гарячі тріщини, газові раковини, вибуховий пригар, усадочні раковини) із-за недосконалості, невідповідності або порушення технології, внаслідок яких знижується якість стоматологічних протезів: естетика, функція, міцність. Ці дефекти виникають внаслідок невідповідного ущільнення форми – недостатнього або надлишкового.

Ми встановили, що вибір оптимальних режимів ущільнення і фізико-механічних властивостей формувальної суміші являє собою важливу задачу технологічної підготовки при виготовленні виливків стоматологічних протезів. Розроблена система моделювання на ЕОМ динаміки ущільнення стоматологічних ливарних форм базується на уявленнях реології та дозволяє вирішити задачу оптимізації формоутворення без виготовлення пробних виливків. Внаслідок моделювання процесу ущільнення здійснюється оптимізація тривалості силових параметрів режиму ущільнення при заданих реологічних властивостях суміші, або оптимізація реологічних властивостей суміші шляхом зміни її складу при заданих режимах ущільнення. Система орієнтована на довільні параметри стоматологічних виливків та враховує різні засоби і режими формоутворення, а також зміну реологічних властивостей формувальної суміші в процесі ущільнення ливарних форм.

Автори пропонують послідовно вводити необхідні вихідні дані для імітаційного моделювання ущільнення і прогнозування можливих дефектів.

1) Введення початкових і межових умов (перша група вихідних даних визначає формування віртуальної моделі ливарної форми та її властивості).

2) Вибір конфігурації формувальної моделі (користувачу пропонується ряд базових конфігурацій моделювального простору).

3) Введення геометричних параметрів:

-свнутрішніх розмірів опоки (висота, довжина, ширина);

-срозмірів, кількості виливків, розміщених на ливниковому «дереві»;

4) Введення реологічних параметрів формувальної суміші для моделювання.

5) Введення властивостей матеріалів (формувальної суміші).

Для реологічного моделювання динаміки ущільнення ливарних форм вводяться наступні параметри:

- 1) насипна щільність;
- 2) коефіцієнт бокового тиску;
- 3) коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя;
- 4) вид реологічної моделі;
- 5) реологічні властивості;
- 6) введення характеристик навантаження.

За результатами імітаційного моделювання ущільнення ливарної форми можливе ефективне прогнозування утворення дефектів форми і виливків, а також деформування та зміни розмірів стоматологічних виливків в залежності від ущільнення всієї форми з врахуванням різних умов в різних зонах форми. Особливістю моделювання є безперервне автоматичне коригування значень реологічних параметрів та виду реологічної моделі, а також параметрів міцності згідно з законом Кулона і теорією Мора: коефіцієнту зчеплення і кутів внутрішнього та зовнішнього тертя в залежності від ефективних значень віброприскорення та щільності формувальної суміші у ливарній формі.

**Самарай В.П.\* , Карпенко В.М.\*\* , Филипенко Е.В.\*\*\***

*(\* Київський міжнародний університет, м. Київ, Україна,*

*\*\*ГГУ ім. Ф. Скорини, м. Гомель, Беларусь,*

*\*\*\*ГГТУ ім. П.О.Сухого, м. Гомель, Беларусь)*

## **РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

Разработанный стенд относится к испытательной технике, в частности к испытанию материалов в форме на действие вибродинамических нагрузок и может быть использован в литейном производстве, производстве строительных материалов.

В качестве прототипа к предложенной полезной модели была взята виброплощадка для уплотнения бетонных смесей в форме пат. 2157756 РФ. Недостатком этого устройства является невозможность контроля и регистрации динамики уплотнения смеси в процессе вибрирования. Задача, которую решает вибрационный стенд, заключается в расширении технологических возможностей виброплощадки, а именно контроль и регистрация динамики уплотнения смеси в процессе вибрирования.

На рис. 1 показан вибрационный стенд, общий вид и вид сбоку.

Стенд содержит основание 1, на котором жестко закреплена сварная рама 2 и посредством упругих прокладок 3 установлен рабочий орган-вибростол 4. В центре сварной рамы 2 закреплен датчик уровня 5. На рабочем органе 4 закреплена опока 6, вибровозбудитель колебаний, включающий систему автоматического управления параметрами колебаний 7 и электродвигатель 8.

Установка работает следующим образом.

На рабочий орган-вибростол 4 закрепляют опоку 6. Опоку 6 заполняют исследуемой смесью. При включении электродвигателя 8 начинает работать вибровозбудитель колебаний, оснащенный системой автоматического управления параметрами колебаний 7.

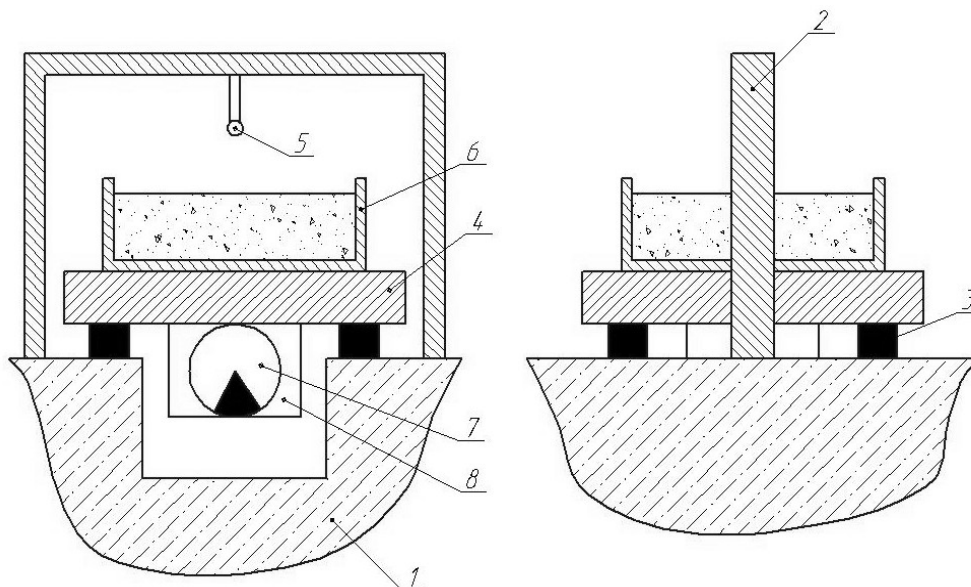


Рис. 1 – Вибрационный стенд

Автоматическая система обеспечивает управление по заданному закону частотой и амплитудой колебаний. Под действием вибровозбудителя 7 рабочий орган-вибростол 4 вместе с опоккой 6 подвергаются вибрации, в результате чего смесь уплотняется. Датчик уровня 5 контролирует уплотнение смеси в опоке 6. В качестве датчика уровня в разработанной установке используется бесконтактный радиоволновый уровнемер. Он облучает поверхность контролируемого материала радиоволновым сигналом СВЧ с периодически изменяющейся частотой. В результате взаимодействия излученного и отраженного сигналов возникает сигнал разностной частоты, пропорциональной расстоянию от уровнемера до поверхности материала. После соответствующей обработки сигнала разностной частоты вырабатываются цифровой и токовый выходные сигналы, пропорциональные текущему значению измеряемого уровня. Датчик непрерывно измеряет расстояние до исследуемого материала, фиксирует динамику уплотнения смеси и регистрирует.

Использование данного стенда позволяет устанавливать оптимальные режимы вибрирования смесей на основе изучения механизма воздействия вибрации на смеси и регулировать технологические свойства смесей на основе изучения влияния вибрации на свойства смесей.



Дробязко В.М., Сосіхіна О.О.  
(НТУУ «КПІ»)

## ГАЗОПРОНИКНІ ПРОТИПРИГАРНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛИТТЯ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ

Важливою властивістю протипригарного покриття для лиття за моделями, що газифікуються, є газопроникність. На кафедрі ливарного виробництва чорних та кольорових металів НТУУ «КПІ» розроблена методика виготовлення зразків та визначення газопроникності покриттів, яка викладена в роботі.

Регулювання газопроникності протипригарних покриттів може бути досягнуто введенням до їх складу вигораючих добавок, пористих матеріалів та добавок, що розкладаються при нагріванні.

Як вихідне використовували протипригарне покриття наступного складу: графіт аморфний – 20%, графіт кристалічний – 15%, розчин ЛСТ густиною  $1,3 \text{ г/см}^3$  – 5%, розчин КМЦ умовною в'язкістю 20 с по ВЗ-4 – 60%. Зміна його газопроникності наведена в таблиці. Як бачимо, газопроникність покриття після прожарювання при  $800^\circ\text{C}$  складає 7,2 од.

Таблиця – Газопроникність покриттів

№ п/п	Добавка	Газопроникність, од.				
		$50^\circ\text{C}$	$200^\circ\text{C}$	$400^\circ\text{C}$	$600^\circ\text{C}$	$800^\circ\text{C}$
1	Вихідне покриття	2,1	3,7	3,9	4,9	7,2
2	Деревна мука фракції 016 – 0,3%	4,9	4,9	10,4	11,5	15,63
3	Амоній сірчаноокислий 15%	2,2	3,1	4,9	10,0	14,2
4	Перліт спучений – 3%	3,8	4,9	9,1	11,3	14,5

В якості вигораючої добавки дослідили деревну муку листяних порід. До складу фарб вводили деревну муку фракції 01, 016, 02 в кількості 0,1...0,5%. При збільшенні вмісту муки та розміру її часток газопроникність протипригарного покриття стрімко зростає. Приймаючи до уваги, що при цьому криюча здатність фарби погіршується, оптимальним слід вважати вміст 0,3% муки фракції 016. Газопроникність такого покриття після прожарювання при температурі  $800^\circ\text{C}$  складає 15,6 од., що пояснюється вигорянням часток муки та зростанням пористості покриття.

Як добавка, що розкладається, застосовували амоній сірчаноокислий. До складу фарби додавали 5, 10, 15% порошкоподібного сірчаноокислого амонію. Газопроникність покриттів зростає зі збільшенням вмісту сірчаноокислого амонію, особливо помітно це при температурах вище  $200^\circ\text{C}$ , що пояснюється його розкладанням при температурі  $218^\circ\text{C}$  з утворенням газоподібних продуктів, що сприяє збільшенню пористості. Однак, кількість амонію сірчаноокислого слід обмежити 15 %, так як при введенні більш ніж 15% значно зростає кількість пор і особливо їх розміри, через які може просочуватись метал з утворен-

ням пригару. Газопроникність таких покриттів наведена в таблиці і складає після прожарювання при температурі 800 °С 14,2 од.

В якості пористого матеріалу використовували перліт спучений. При експериментах до складу фарби вводили 1...5% перліту. При збільшенні вмісту перліту зростає в'язкість покриття і погіршується його криюча здатність, тому оптимальним слід вважати вміст 3% перліту. Газопроникність протипригарних покриттів наведена в таблиці і складає після прожарювання при температурі 800 °С 14,5 од.

Цілком зрозуміло, що в виробничих умовах придатною добавкою для підвищення газопроникності протипригарних покриттів є деревна мука. Протипригарні покриття з деревною мукою при фарбуванні моделей зануренням утворюють шар товщиною 0,30...0,35 мм, а витрата фарби складає 2,5...3,0 г/дм<sup>2</sup>.

**Суменко В.Ю.**

**(НТУУ «КПІ»)**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ З НАПРАВЛЕНОЮ КРИСТАЛІЗАЦІЄЮ В ФОРМИ З МОДИФІКОВАНОЇ КЕРАМІКИ**

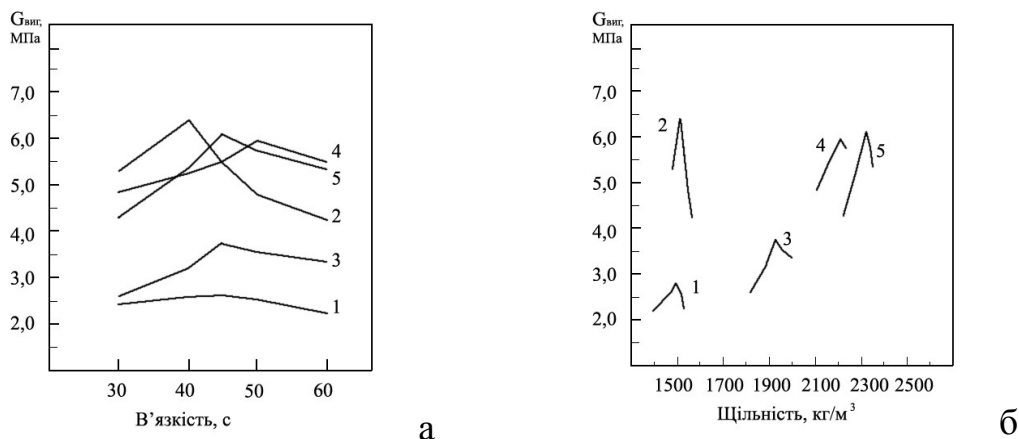
Точне литво авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) за моделями, що витоплюються – значне технологічне досягнення в порівнянні з іншими металургійними процесами, здійснюваними в промисловому масштабі.

Процес точного литва – найбільш реальний метод виробництва деталей складної конфігурації з основних сучасних жароміцних сплавів, що погано піддаються механічній обробці, вартість якої дуже висока.

Для литва лопаток із спрямованою і монокристалічною структурами розроблений принципово новий технологічний процес і відповідні ливарні установки, що дозволяють здійснити поступове спрямоване зростання кристалів (чи одного кристала – при монокристалічній структурі) металу в ливарній формі від нижньої частини лопатки до замку включно.

При отриманні виливків з направленою структурою із жароміцних матеріалів, зокрема лопаток газотурбінних двигунів (ГТД) та газотурбінних установок (ГТУ), використовують способи, які умовно можна розділити за наступними ознаками. *За способом нагріву і підтримки температури форми з розплавом:* використання екзотермічних сумішей; індукційний нагрів за допомогою графітової гільзи-приймача; використання нагрівача опору; прямий індукційний нагрів. *За способом охолодження:* радіаційний; конвективний; за рахунок теплопровідності; змішаний; обдув газом. *За способом екранування зони нагріву і охолодження.* *За способом додаткової дії на розплав:* електричним струмом; ультразвуком; магнітними полями.

Для отримання високоякісних виливків за моделями, що витоплюються, необхідно надавати особливу увагу якості керамічної форми, особливу увагу треба надавати матеріалам, які використовуються для виготовлення форми.



1 – форма на основі маршаліту; 2 – форма на основі плавленого кварцу; 3 – форма на основі дистенсиліманіту; 4 – форма на основі корунду; 5 – форма на основі циркону

Рис. 1 – Залежність міцності на вигин при підвищених температурах ( $G_{\text{виг}}$ ) від в'язкості суспензій (а), і від щільності суспензій (б)

Основними параметрами, що визначають вибір матеріалів для ливарних форм, є вогнетривкість, термостійкість і термохімічна стійкість.

Як дослідні матеріали були обрані найбільш вживані у промисловості вогнетриви: кристалічний кремнезем (маршаліт), аморфний кремнезем (плавлений кварц), дистенсиліманіт, корунд, циркон.

Як обсіпні матеріали для суспензій з маршалітом використовували кварцовий пісок, з плавленим кварцем – плавлений кварц, з дистенсиліманітом і корундом – корунд, з цирконом – циркон. Для наповнювачів суспензій використовували фракції менше 0063, для обсіпки першого шару – фракції 016...025, для другого – четвертого шарів – 0315...063. Зразки розмірами 20x40 мм формували чотирма шарами з обсіпкою і п'ятий шар, закріплюючий – суспензією без обсіпки. Для кожного складу готували п'ять суспензій різної в'язкості від 30 до 60 с по віскозиметру ВЗ-4, заміряли густину суспензій. Зразки прожарювали при температурі 950 °С протягом 1 год. Температура досліджень на міцність при вигині складала 1050 °С, час витримки зразків у печі до початку дії навантаження – 3 хвилини. Міцність на вигин визначали як середнє значення по десяти дослідженим зразкам.

**Федоров Н.Н., Сотников Д.Ю.**

*(ДДМА, м. Краматорськ)*

## **КОМПЛЕКСНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ЛИНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ**

В практике зарубежного литейного производства при работе на автоматических формовочных линиях, особенно в автомобилестроении, приоритетным является применение комплексных связующих материалов (КСМ) на основе качественных бентонитовых глин и углеродсодержащих материалов. Такой подход обес-

печивает ряд преимуществ по сравнению с технологией отдельного применения указанных компонентов формовочной смеси:

1) упрощение технологии смесеприготовления (устраняются многие подготовительные операции, упрощается дозирование компонентов и режимы смешивания);

2) получение качественно уплотненных опочных и безопочных литейных форм, изготовленных из формовочных смесей с высокими показателями прочности, формуемости и текучести;

3) получение качественных отливок с низкой шероховатостью поверхности за счет противопригарного и противоужиминного эффекта специальных углеродсодержащих добавок, содержащихся в КСМ.

В настоящее время на украинском рынке формовочных материалов предлагаются КСМ и комплексные добавки как зарубежного, так и отечественного производства (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики КСМ и комплексных добавок, предлагаемых украинским производителям литья

Торговая марка материала	Производитель (разработчик)	Характеристика материала
ANTRAPUR <sup>®</sup>	S&B Industrial Minerals GmbH, Германия	Обеспечивает высокую уплотняемость и текучесть формовочных смесей, снижение влагосодержания, высокую размерную точность форм. Используются гидрофобные анизотропные углеродные материалы макрокристаллической монтмориллонитоподобной структуры, которые оказывают содействие скольжению частиц смеси при уплотнении и тем самым улучшают текучесть и уплотняемость смеси.
БАК <sup>®</sup>	ОАО «Завод утяжелителей», Украина	В основу способа производства БАК <sup>®</sup> положен совместный помол в ролико-маятниковых мельницах комовых сортов отечественных бентонитов с активирующими реагентами, специальными марками каменных углей и другими углеродсодержащими добавками, имеющими целевое назначение. Такая обработка бентонита повышает степень его диспергирования и обеспечивает улучшение прочностных характеристик и пластических свойств формовочной смеси.
НАУВОС <sup>®</sup>	Swerea SWECAST, Швеция	Новый заменитель угольной пыли, используемый при литье чугуна в песчано-бентонитовые формы. Количество загрязнений окружающей среды летучими органическими соединениями уменьшается до 90%.

В Украине последний положительный опыт работы с материалами ANTRAPUR® и БАК® был получен в условиях производства ЗАО «Днепропромлит», г. Днепропетровск, что позволило констатировать преимущества работы с данными материалами:

- обеспечены стабильные и высокотехнологические свойства сырых песчано-бентонитовых смесей при формовке на автоматической линии по Сейатцу-процессу;

- обеспечено получение высококачественного литья из различных марок чугунов без поверхностных дефектов с шероховатостью поверхности: от 3,2 до 12,5 мкм при толщинах стенок от 5 до 40 мм;

- улучшена выбиваемость форм и отделение смеси от отливок;

- обеспечена экономия расхода формовочных материалов.

Однако, при работе с материалами ANTRAPUR® и БАК® отмечен существенный недостаток – значительное газовыделение и пылеобразование в производственном цикле литья, что может служить поводом к штрафным санкциям со стороны контролирующих органов. В связи с этим практический интерес представляет новая добавка NAYVOC®, которая по заявлению разработчиков обеспечивает значительное снижение газовыделения при заливке и выбивке форм. Дальнейшие работы направлены на экспериментальное подтверждение преимуществ добавки NAYVOC®. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы в доработке рецептурного состава комплексного связующего БАК® с целью улучшения экологических условий работы с данным материалом.

**Цибуля О.П.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ З КЕРОВАНОЮ ТЕПЛОПРОВІДНІСТЮ**

Оснoву процесу формування властивостей вилівка складають теплові явища, оскільки саме зміна теплового стану металу обумовлює формування тих чи інших властивостей вилівка. Дослідження теплових умов процесу та властивостей формувальних та стрижневих сумішей є актуальним напрямком при отриманні бажаних властивостей вилівка.

Швидкість кристалізації металу у формі та наступне її охолодження залежить від теплофізичних властивостей формувальних та стрижневих матеріалів.

Головним параметром, що визначає інтенсивність процесу твердіння та охолодження вилівка, є теплоакумулююча здатність ливарної форми. Якщо за технологією необхідно забезпечити швидке охолодження вилівка, то матеріал форми повинен мати високий коефіцієнт акумуляції тепла. Підвищити теплопровідність формувальних матеріалів можливо завдяки додаванню в них металічних часток (чавунна стружка, відходи електросталеплавильного виробництва).

Метою даної роботи є дослідження сумішей, що містять у своєму складі компоненти, що мають підвищену теплопровідність та здатні поглинати тепло від розплаву. Для цього потрібно дослідити вплив компонентів суміші на її теплофізичні властивості.

Одними з таких сумішей є металофосфатні холоднотверднучі суміші на основі оксидів заліза.

Для дослідження було обрано суміші, які склалися з наповнювача (пісок, вугілля), 4...7% оксидів заліза (до маси вогнетривкого наповнювача), 3...5% ортофосфорної кислоти. Для підвищення теплопровідності суміші було запропоновано частину вогнетривкого наповнювача замінити вугіллям. Вміст вугілля змінювали в межах 0...90%.

З кожної суміші виготовили стрижні у формі куба з розмірами 50×50×50мм. Стрижні сушили протягом 45 хв.

Для дослідження теплофізичних властивостей даних сумішей, а саме швидкості проникнення тепла у зразку, проводили термоаналіз виготовлених з даних сумішей стрижнів.

Кожен зразок мав отвір діаметром 3 мм, в який встановлювалась термопара на відстані 25 мм від поверхні контакту з металом. Зразки зі встановленими у них термопарами розміщували в ливарній формі. Холодні кінці термопар під'єднували до АЦП.

Проведені дослідження показали, що суміші з більшим вмістом вугілля швидше прогриваються до максимальної температури. Час прогріву суміші без вугілля до максимальної температури 458,6 °С складає 1953 с, а суміші з вмістом 90% вугілля до 519,1 °С – 1420 с.

**Шаповалова Д.В., Лютий Р.В.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

### **ФОРМУВАЛЬНІ ТА СТРИЖНЕВІ СУМІШІ З МІНІМАЛЬНИМ ВМІСТОМ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ**

Відомий ряд формувальних сумішей, в яких зміцнення забезпечується при утворенні неорганічних полімерів внаслідок хімічних реакцій між компонентами суміші. Серед таких полімерів особливо можна виділити металофосфатні зв'язувальні системи. Вони утворюються при кислотно-основній взаємодії двох складових суміші: ортофосфорної кислоти та оксиду основного металу. Застосування в ливарних цехах знайшли суміші із оксидами заліза та магнію. Незважаючи на ряд відомих переваг таких сумішей, обсяг їх використання невеликий. Основні причини цього полягають у тому, що фосфатні зв'язувальні компоненти в Україні не виробляються, а зазначені оксиди металів містяться у складі побічних промислових продуктів, які не мають постійного складу, отже немає можливості забезпечити стабільні властивості сумішей.

Метою нашого дослідження було розроблення рецептури сумішей на основі ортофосфорної кислоти для виготовлення форм і стрижнів, які зміцнюються в контакт з оснащенням. Задачі дослідження:

1. На основі вивчення реакцій кислотно-основної взаємодії визначити можливість використання певних хімічних речовин у складі сумішей з ортофосфорною кислотою.

2. Дослідити особливості і кінетику зміцнення сумішей в залежності від хімічної природи реагентів.

3. Дослідження температурно-часових параметрів зміцнення сумішей.

4. Визначення оптимального співвідношення компонентів сумішей для забезпечення високого рівня фізико-механічних властивостей.

5. Технологія виготовлення форм і їх лабораторні випробування.

Дослідження хімічних реакцій взаємодії ортофосфорної кислоти із сполуками металів проводили, по-перше, для визначення можливості реалізації реакції при нормальній або підвищеній температурі, а по-друге, для перевірки наявності зв'язувальних властивостей у продуктів даних реакцій. Для цього змішували розраховану кількість ортофосфорної кислоти (10%) із солями натрію, алюмінію та інших металів (10...20%) та з вогнетривким наповнювачем (пилоподібною фракцією  $\text{SiO}_2$  – решта). Отримані наважки витримували на повітрі або нагрівали до різних температур в інтервалі 100...200 °С.

Найбільш позитивно зарекомендували себе такі сполуки, як: поліфосфат натрію та хлорид натрію. Менш задовільні результати отримані із сульфатом алюмінію. Суміші з указаними сполуками можливо віднести до самотвердних, але період їх зміцнення є дуже тривалим (понад 24 год). Інтенсифікувати процес можливо при нагріванні (150...200 °С).

Суміш, виготовлена з поліфосфату натрію, має такі властивості: після висушування протягом 1 години при температурі 200 °С міцність на стиск 1,4...1,9 МПа. Суміш з хлоридом натрію за аналогічних умов має міцність 1,0...1,65 МПа, суміш із сульфатом алюмінію – лише 0,3 МПа.

Розрахунковий загальний вміст компонентів у сумішах дуже низький: 1,1% солі, 0,5% ортофосфорної кислоти. Відомо, що в традиційних сучасних ХТС вміст зв'язувального компонента не менше 1...1,5%.

Досліджені нами суміші мають високу міцність, яка може бути підвищена за рахунок збільшення вмісту зв'язувального компонента. Така висока міцність свідчить про максимально повну реалізацію зв'язувальних властивостей отриманого неорганічного полімера і може бути достатньою для виготовлення тонкостінних (оболонкових) форм та керамічних форм за моделями, що витоплюються.

Форми, виготовлені із двох сумішей (ортофосфорна кислота з поліфосфатом натрію і кислота з хлоридом натрію) заливали сталлю 20Х25Ю2Л при температурі 1560 °С. Якість поверхні виливків задовільна. Оскільки дана сталь має високу кількість хрому, оксиди якого є дуже агресивними до компонентів ливарної форми, можна зробити висновок, що суміші є придатними як формувальні і стрижневі для сталевих литва.

**Сімановський В.М., Нейма О.В.**  
*(ФТІМС НАН України, м. Київ)*

## **СУЧАСНА ЛИВАРНА КЕРАМІКА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВИЛИВКІВ З ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ**

При отриманні виливків із жароміцних сплавів, наприклад, лопаток енергетичних газотурбінних двигунів (ГТД) методом направленої кристалізації (НК), керамічні форми, стрижні і фільтри перебувають у зоні високих температур (1300...1600 °С) і тривалий час контактують з перегрітим металевим розплавом.

Формувальні та вогнетривкі матеріали, які широко використовуються для лиття складнопрофільних виливків із жароміцних сплавів, мають значні недоліки. Технологічні методи підвищення властивостей цього класу вогнетривів практично вичерпали себе. Покращення комплексу їх експлуатаційних характеристик може бути досягнуто, в основному, за рахунок створення принципово нових матеріалів із застосуванням активних добавок – модифікаторів.

Отже, основною метою науково-дослідної роботи є вирішення проблеми розроблення нових модифікованих ливарних вогнетривких матеріалів для оболонкових форм, що дають можливість одержати жароміцні сплави для складнопрофільних деталей ГТД з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

З огляду на високі вимоги (хімічна інертність, висока вогнетривкість і т. п.) до литих лопаток традиційні формувальні матеріали (кварц, шамот) практично не застосовуються при литті цих деталей. У даний час на підприємствах СНД, які виготовляють лопатки ГТД, застосовують електрокорунд, дисенсиліманіт, глинозем, маршаліт.

У наш час для виготовлення лопаток ГТД із жароміцних сплавів на нікелевій основі використовується, головним чином, технологія лиття за моделями, що витоплюються. Етилсилікат, в якості зв'язувального компоненту, та утворений після його гідролізу та термооброблення форм слабкоструктурований кремнезем, утворюють низькоплавку фазу, яка знижує вогнетривкість та термохімічну стійкість матеріалу форми. Так, оксид кремнію на поверхні форми взаємодіє з хімічно активними елементами, такими як Al, Ti, Cr, V, Zr, Nb, Mo, W, впливаючи на структуру поверхневого шару лопаток та, як правило, формує на поверхні виливків шар, збіднений на ці елементи. Це може негативно вплинути на експлуатаційні характеристики виливків.

Як було вище згадано, поліпшення робочих характеристик вогнетривів можливе за рахунок їх модифікування. В якості модифікаторів були випробувані у ФТІМС НАНУ дисперсні порошки Al, Si, B, Ti.

При модифікуванні сумішей модифікатор зв'язує кремнезем етилсилікату в муліт. Можна відмітити такі процеси, що відповідають за зміцнення форми при модифікуванні, як локальний розігрів, що супроводжує окиснення, підвищує температуру реагентів, розплавлення модифікатора. Це вносить в твердофазний процес спікання елементи рідкофазного, сприяючи зниженню температури спікання форми. Оксид, що утворився, вступає у взаємодію з напов-



нювачем і продуктами розпаду зв'язувального компонента, приводячи до формування муліту. Збільшення об'єму, що супроводжує утворення заново формуючого оксидного утворення, сприяє збільшенню площі контакту між зернами і зменшенню пористості виробу із вогнетривкої кераміки.

Механізм модифікування та структура кераміки досліджується за допомогою диференціально-термічного та термогравіметричного аналізу, рентгенофазного аналізу та електронної мікроскопії. У результаті проведених аналізів можна зробити висновок, що модифікування вогнетривких композицій призводить до зменшення глибини зони взаємодії виливок-форма з 200 до 30...50 мкм, а також сприяє відсутності збідненого поверхневого шару виливків основними легувальними елементами сплавів (Cr, Al, Ti, Co, W, Mo).

**Сиропоршнєв Л.М., Панасюк І.І.**

*(НТУУ «КПІ»)*

### **РОЗРОБЛЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛОВИХ МОДЕЛЕЙ**

У світовій практиці широкого використання набули пінополістиролові матеріали. Їх застосовують для виготовлення технологічної і побутової тари, а також тари для харчових продуктів.

Пінополістирол (ППС) – сучасний, визнаний у всьому світі екологічно чистий і довговічний.

У ливарному виробництві цей матеріал використовується, як технологічний процес лиття за моделями, що газифікуються. Цей технологічний процес має ряд переваг: скорочується час виготовлення, зменшується трудомісткість, не потрібне сумішоприготувальне відділення, продукція дешевша.

Пінополістирол можна використовувати для отримання зв'язуючого, яке можна в подальшому використовувати для виготовлення формувальних і стрижневих сумішей, покриттів ливарних форм при виготовлення виливків із чорних та кольорових сплавів.

Зв'язуючі являють собою розчини полістиролу в органічному розчиннику, які можуть затвердівати при кімнатних температурах, а також при температурах підсушування до 200 °С.

В якості розчинника пінополістиролу можна використовувати вуглеводень рослинного походження – живичний скипидар (ГОСТ 1571–82).

Фізико-механічні властивості формувальних стрижневих сумішей на основі зв'язуючих із пінополістиролу не поступаються холодотвердним сумішам на основі рідкого скла, фенолформальдегідних, карбідофуранових смол. Це дозволяє замінити дорогі зв'язуючі, які використовуються на сьогодні у виробничому процесі лиття заготовок із чорних та кольорових сплавів.

**Дробязко В.М., Савіцька Н.Б.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

### **КРИЮЧА ЗДАТНІСТЬ ПРОТИПРИГАРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ**

В процесі роботи було виконано ряд експериментів, результатом яких було дослідження міцності на згин зразків фарби, яку попередньо готували, змішуючи всі компоненти. Фарби готувались на основі органічного (ЛСТ) та неорганічного (рідке скло) зв'язуючого.

Компоненти покриттів, що досліджували:

- 1) аморфний (25%) та кристалічний (10%) графіт, ЛСТ (10%; 5%), розчин КМЦ (55%; 60%) в'язкістю 20 с;
- 2) аморфний (25%) та кристалічний (10%) графіт, рідке скло (10%; 5%), розчин КМЦ (55%; 60%) в'язкістю 20 с.

Далі фарбу заливали у графітові форми, пров'ялювали тиждень. В результаті отримували 12 зразків розміром 50x20x2мм, після чого зразки прожарювали протягом 5 хв при температурах 200, 400, 600, 800 °С і визначали міцність на згин.

Таблиця – Міцність на згин

№ п/п	Зв'язуючий компонент, %	Міцність на згин, МПа				
		20°C	200°C	400°C	600°C	800°C
1	5 ЛСТ	3	3,4	3,2	1,1	-
2	10 ЛСТ	4,2	4,6	2,9	2	-
3	5 рідке скло	3,5	2,4	2,7	1	7,6
4	10 рідке скло	1,6	1,7	1,05	1,9	-

**Ігнат'єва Я.В., Шейко О.І.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ КВАРЦОВИХ ПІСКІВ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТРИЖНЕВИХ СУМІШЕЙ**

В ливарному виробництві основна маса виливків виготовляється в різних піщаних формах. Для виготовлення ливарних форм використовуються піщано-глинисті формувальні суміші, які повинні мати необхідні технологічні властивості.

В якості наповнювача формувальних і стрижневих сумішей використовують кварцові піски різних кар'єрів. Найважливішими властивостями формувальних пісків є розмір і форма зерен та співвідношення зерен різного розміру, що визначається гранулометричним складом піску.

Метою магістерської роботи є дослідження впливу гранулометричного складу кварцових пісків на технологічні властивості формувальних і стрижне-

вих сумішей, визначення співвідношення зерен наповнювача в об'ємі піщано-глинистої суміші та її оптимального складу.

Відомо, що розмір зерен кварцового піску впливає на технологічні властивості формувальних і стрижневих сумішей. Так, при використанні пісків дрібних фракцій підвищується міцність і щільність ущільненої формувальної суміші та одночасно спотерігається зниження її газопроникності за рахунок зменшення поруватості. Застосування крупних фракцій призводить до зворотнього ефекту. Тому для отримання оптимальних технологічних властивостей формувальних і стрижневих сумішей співвідношення зерен наповнювача різних фракцій, які використовуються у складі сумішей, повинно бути визначеним. Це дозволить значно підвищити технологічні властивості сумішей.

Для визначення впливу гранулометричного складу кварцових пісків на технологічні властивості формувальних і стрижневих сумішей в роботі проводяться дослідження по визначенню міцності на стискання та обсипаємості в сирому та сухому стані, газопроникності, поруватості, щільності та ущільненості.

Проведені дослідження дозволять встановити раціональне співвідношення різних фракцій наповнювача у складах формувальних і стрижневих сумішей та визначити їх оптимальні склади.

**Шевчук Т.В.**  
**(НТУУ «КПІ»)**

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ**

Світові потреби сплавів цинку, алюмінію і магнію в період останніх років продовжують збільшуватись. В середньому 70% всіх виливків з алюмінієвих і магнієвих сплавів використовується в автомобільній промисловості.

Алюмінієві сплави приблизно на 50%, а цинкові в 4 рази важчі від магнієвих. Але в автомобільній промисловості переваги по вибору сплаву пов'язані в основному з необхідними механічними властивостями окремих виробів.

Недолік великої питомої маси цинкових сплавів часто можна компенсувати зменшенням товщини стінки вилівка. Для виробництва такого литва потрібний технологічний досвід і правильно підібране устаткування, а саме машина лиття під тиском, прес-форма, режим змащення прес-форми.

Найбільш масовими легкими сплавами для виробництва автомобільного литва є алюмінієві, тим не менше, в останні роки спостерігається зростання використання магнієвих сплавів, що пов'язано з появою магнієвих сплавів з покращеними антикорозійними властивостями та менше схильних до займання в твердому стані. Крім того, рідкотекучість магнієвих сплавів вища, ніж у сплавів алюмінію і цинку.

Незважаючи на те, що метод лиття під тиском (ЛПТ) в основному використовується в автомобільній промисловості, дана технологія може бути застосована всюди, де потрібне масове виробництво деталей складної конфігурації.

Завдяки широкому використанню систем автоматизації технології литва під тиском, забезпечується висока геометрична точність виробів, відмінна якість і економічна ефективність виробництва.

Деякі факти на користь виробництва виливків методом литва під тиском:

- можна виготовляти вироби складної конфігурації;
- знижується маса деталі за рахунок оптимізації форми і зменшення товщини стінки виливка;
- забезпечується висока розмірна точність;
- можна досягти високої геометричної жорсткості виробів;
- хороша термостійкість матеріалу;
- забезпечуються хороші механічні властивості виливків;
- хороший захисний ефект литих корпусних виробів електромагнітного випромінювання;
- можливість нанесення високоякісних лакофарбових покриттів;
- можливість 100% перероблення виробів.

Можливість отримання в литому вигляді без облою готових компонентів електронних приладів з магнієвих сплавів є великою перевагою технології ЛПТ з гарячою камерою пресування. Сплави магнію забезпечують зниження собівартості, зменшення маси і високу надійність роботи електронних пристроїв, захист від електромагнітного випромінювання і мінімальні відхилення розмірів. Вироби із магнієвих сплавів, отримані методом ЛПТ, мають складну конфігурацію з високою розмірною точністю, дають великі переваги підприємствам електронної промисловості.

Через низьку теплоємність магнієві сплави кристалізуються дуже швидко. В кінці процесу запресування метал кристалізується в живильниках. При використанні машини з холодною камерою пресування ця проблема найбільш часто зустрічається, та мультиплікатор не може створити достатніх зусиль через кристалізовані живильники. При використанні машини з гарячою камерою пресування така проблема не спостерігається. Машина з гарячою камерою пресування забезпечує більш постійну температуру розплаву при заповненні прес-форми, в тому числі за рахунок встановлених додаткових нагрівальних елементів на сильфоні і соплі пресового вузла. На машинах з холодною камерою температура розплаву може коливатися в залежності від швидкості переливання з печі-дозатора в прес-камеру і від розміру самої прес-камери.

Для виробництва тонкостінного литва з високою міцністю і для зниження пористості краще застосовувати машини з гарячою камерою пресування.

Леонтьева К.М.\*, Шинский О.И.\*\*  
(\*НТУУ «КПІ», \*\*ФТІМС НАН України)

## ТЕПЛОМАСООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ФОРМЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАКРОАРМИРОВАННОЙ ФАЗОЙ

Процессы производства армированных отливок методом литья в формах, в которых размещается макроимплантаты (армирующие элементы) различной геометрии отличаются от традиционных.

При получении отливок путем армирования их макроимплантатами, расположенными в полости литой формы или в пеномодели, возникают новые для теории литейных процессов многокомпонентные системы: "металл – модель – имплантат – форма" и "металл – армирующая фаза – форма".

Наличие в пенополистироловой модели или в полости и стенке формы МАФ видоизменяет условия газогидродинамики литья, интенсивность массо-теплообменных процессов при затвердевании и охлаждении литых изделий, что предопределяет структурообразование и потребительские характеристики литых конструкций.

Поэтому при исследовании закономерностей теплообмена и гидродинамики в системах "металл – модель – имплантат – форма" и "металл – армирующая фаза – форма" важно было определить условия и закономерности влияния составляющих этих новых систем, детерминировано воздействующих на каждый компонент системы.

Задача исследования:

- адаптировать теплофизическую модель течения жидкости в тонких каналах к условиям течения матричного сплава (МС) в поровом пространстве, образованном армирующей фазой (МАФ), расположенной в литейной форме;
- установить влияние плотноупакованной МАФ, которая образует собственное поровое пространство в форме, на гидродинамические и термовременные параметры ее заполнения МС;
- определить закономерности влияния МАФ в виде ориентированных стержнем, расположенных в форме, которые не соприкасаются между собой, на условия заполнения формы МС;
- установить влияние избыточного давления на жидкий МС (медные сплавы) на условия перемещения их в форме с МАФ при одновременном варьировании ее геометрическими размерами и температурой МС.

Решение поставленных задач в целом представляет особые трудности. Тем не менее, их решение возможно с достаточной для практических целей точностью с привлечением методов математического моделирования.

Физическая модель теплообмена происходит следующим образом: в реальных условиях получения армированных отливок сопротивление среды наполнителя движущемуся металлу зависит от температурных условий заполнения формы, геометрии МАФ и размещения ее в полости формы. При этом следует отметить, что жидкий сплав при плотной упаковке МАФ протекает по "капиллярным" тонким каналам, образованным частицами этой арми-

рующей фазы или в полости формы, насыщенной МАФ, элементы которой расположены на фиксируемом расстоянии друг от друга.

На основе математической модели были произведены расчёты течения матричного сплава (БрОЦС5-5-5, БрА9Ж4, БрКЗМц1) в полости формы.

В результате исследования:

- разработана теплофизическая модель течения матричного сплава (МС) в поровом пространстве, образованном армирующей фазой (МАФ), расположенной в литейной форме с учетом ее приведенных геометрических характеристик;

- установлено влияние плотноупакованной МАФ, расположенной в литейной форме, на особенности ее заполнения МС в виде бронз БрКЗМц1 и БрОЦС5-5-5 при гравитационной пропитке и под избыточным давлением, при чем наложение давления (0,5 МПа) увеличивает глубину пропитки в МС в 40...50 раз в сравнении с гравитационной;

- определено, что наложение избыточного давления на расплав БрКЗМц1 и БрОЦС5-5-5 (0,5 МПа) при заполнении формы с МАФ (стержни), расположенной в форме, увеличивает глубину пропитки МАФ с 25 мм до 900...1000 мм, а это дает возможность получать литые изделия из медных сплавов любой геометрии и сложности.

### **3 РОЗДІЛ. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Богушевський В.С., Жук С.В., Чернушевіч Я.Д.  
(НТУУ “КПІ”)**

#### **ВИКОРИСТАННЯ СТАВРОЛІТУ В УМОВАХ КОНВЕРТОРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Шлакоутворення є найважливішою складовою технології конверторної плавки. Воно визначає процес дефосфорації, десульфурації металу, істотно впливає на стійкість футерівки. Раннє утворення активного шлаку, який на час інтенсивного окислювання вуглецю вкриває метал досить товстим шаром, супроводжується звичайно значним зменшенням виносу і викидів металу. У викидах міститься до 65% металевої фази. Повільне шлакоутворення викликає перевитрати вапна, хоча не завжди забезпечується необхідний рівень (глибина) десульфурації і дефосфорації металу. У звичайних умовах плавки шлакоутворення найчастіше проходить з недостатньою швидкістю, що приводить до неповного засвоєння вапна шлаком (60...90 %) і затягування процесів видалення шкідливих домішок.

Процес шлакоутворення на практиці визначається дуттєвим режимом і режимом присадок шлакоутворюючих матеріалів, що передбачає вид і кількість шлакоутворюючих матеріалів, порядок і черговість їх введення у конвертор.

Найбільш сильним і розповсюдженим розріджувачем у киснево-конверторному виробництві є плавиковий шпат ( $\text{CaF}_2$ ), який навіть при незначних його добавках (2...3 кг/т сталі) забезпечує зростання реакційної здатності шлаку. Плавиковий шпат не знижує вмісту оксиду кальцію у шлаку, оскільки містить іон  $\text{Ca}^{2+}$ .

Присадки плавикового шпату дозволяють вести процес при меншій концентрації оксидів заліза у шлаку. Присаджують його в основному на самому початку продувки або під час скочування шлаку при інтенсивному процесі зневуглецювання.

У зв'язку зі зростаючим дефіцитом плавикового шпату і високою його вартістю (одержання якісного металургійного плавикового шпату вимагає великих витрат) досить інтенсивно ведуться пошуки його заміників. Широко ведуться дослідження можливості використання в конверторній плавці різних мінеральних речовин і відходів кольорової металургії. Позитивні результати отримані при застосування борвмісних речовин. Задовільні результати отримані при використанні замість плавикового шпату нефелінової руди – уртиту. В якості можливих заміників плавикового шпату можуть розглядатися такі природні матеріали, як флюоритизований вапняк і флюоритова руда.

У конвертерах місткістю 160 т металургійного комбінату ВАТ «Арселорміттал, Кривий Ріг» як заміник плавикового шпату використовується ставролітовий металургійний брикет. Проведені дослідження показали, що:

1. Використання ставролітових брикетів поліпшує шлакоутворення у ванні конвертера в процесі продування.

2. При виплавці сталі динаміка зміни вмісту сірки на дослідних і порівнювальних плавках практично однакова, що підтверджується ступенем десульфурації.

3. Основність кінцевого шлаку на плавках із застосуванням ставролітових брикетів склала 3,29 од., проти 3,32 од., що практично ідентично плавкам, на яких використовувався плавиковий шпат.

4. Час, який витрачається на видалення “настилу” на дослідних плавках знаходиться практично на одному з плавками, на яких застосовували плавиковий шпат.

5. Шлакоутворюючі властивості плавикового шпату кращі, ніж властивості ставролітових брикетів.

6. Ставролітові брикети доцільно використовувати тільки у випадку відсутності плавикового шпату.

Досліди, проведені на 160 – тонних конверторах металургійного комбінату ВАТ «Арселорміттал, Кривий Ріг», підтвердили можливість використання ставролітового брикету замість дефіцитного і дорогого плавикового шпату в якості флюсоуючої добавки. Проте, проведена кількість дослідів не дає змогу зробити остаточних висновків, щодо повної заміни плавикового шпату на ставроліт.

**Богушевський В.С., Абрамова О.С., Горбачова М.В., Зайцева Х.І.  
(НТУУ «КПІ»)**

## **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АСКТП МАШИН ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ**

Аналіз процесу лиття під тиском (ЛПД) показує, що брак виливків з’являється, в основному, по двом причинам: або не оптимізовані режими лиття, або вони порушуються в процесі виробництва. В першому випадку необхідно провести дослідження по оптимізації, в другому для стабілізації змінних параметрів, що залежать від роботи устаткування в умовах випадкових збурень, необхідно автоматизувати процес.

При роботі устаткування в автоматичному режимі по жорсткій програмі можливі зовнішні збурення (поповнення розплавом роздаткової печі, підлив розплаву у зазор між прес-поршнем і наповнюючим стаканом й інші), що порушують нормальний режим лиття й призводять до браку. Для нормального ходу технологічного процесу необхідно контролювати якість виливка й коректувати режими лиття.

Без уточнення оцінок технологічних параметрів в моделі неможливо із заданою точністю передбачити якість виливків для кожного наступного циклу і, як наслідок, керувати процесом. Аналіз характеру температурних кривих процесу, динаміки пресування, пористості виливків, числа центрів, розмірів і місця розташування пухкості виливків показав, що процес ЛПД – стохастич-



ний і нестационарний. Тому для його описання найбільш годиться адаптивний алгоритм, що заснований на методі стохастичної апроксимації. В умовах нестационарного процесу він дає можливість підстроювати модель весь час, уточнюючи оцінки параметрів, що повільно змінюються.

Аналіз процесу ЛПД виявив  $n$  змінних параметрів  $x_i$  ( $i \in 1 \dots n$ ), які повинні бути включені в математичну модель: температура металу в дозаторі ( $i = 1$ ) і прес-формі ( $i = 2$ ), тривалості витримки металу в камері пресування ( $i = 3$ ) і виливка у формі ( $i = 4$ ), тривалості нанесення мастила (маса мастила) ( $i = 5$ ) й обдування стисненим повітрям локальних ділянок форми ( $i = 6$ ), швидкість пресування ( $i = 7$ ), піковий тиск підпресовки ( $i = 8$ ) і тривалість його наростання ( $i = 9$ ). Найбільш вагомий і повний компенсуючий параметр – швидкість пресування.

Процес ЛПД на  $N$ -му такті може бути описаний рівнянням:

$$y(N) = \sum_{i=1}^n h_i(N)x_i(N), \quad (1)$$

де  $y(N)$  – фактичне значення критерію якості виливка;

$h_i(N)$  – фактична оцінка  $i$ -го технологічного параметра процесу;

$x_i(N)$  – можлива компенсуюча дія по  $i$ -му параметру.

Прогнозуючу модель процесу на  $N$ -му такті знаходимо у вигляді:

$$y^*(N) = \sum_{i=1}^n h_i(N-1)x_i(N), \quad (2)$$

де  $y^*(N)$  – прогнозоване значення критерію якості виливка;

$h_i(N-1)$  – фактична оцінка  $i$ -го технологічного параметра на попередньому такті.

Уточнення оцінки  $i$ -го технологічного параметра проводимо за ітераційним алгоритмом:

$$h_i(N) = h_i(N-1) + \frac{y(N) - y^*(N)}{\sum_{i=1}^n x_i(N)} x_i(N). \quad (3)$$

Підтримання заданої якості виливка засновано на принципі компенсації збурень технологічних параметрів, що з'являються, на фіксованому такті роботи машини ЛПД. Знаючи компенсуючі можливості параметрів, що впливають на якість виливка й їх значення в поточному циклі визначаємо величину компенсуючого діяння:

$$y^{**}(M) = h_1(M-1)x_1(M) + h_2(M-1)x_2(M) + \dots + h_i(M-1)x_i(M), \quad (4)$$

де  $y^{**}(M)$  – значення критерію якості, що отримують при підстановці в рівняння моделі значень технологічних параметрів на  $M$ -му циклі для такту пресування;

$h_1(M-1), h_2(M-1), \dots, h_i(M-1)$  – оцінки фактичних значень параметрів на попередньому циклі.

Гресс А.В., Стороженко С.А., Колиброда С.Н.

(ДДТУ, м. Дніпродзержинськ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ МЕТАЛЛА В ЛИТЕЙНЫХ КОВШАХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЭЛЕКТРОДИФфуЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для оптимизации гидродинамических потоков металла в литейных ковшах необходима информация об основных их характеристиках. Для ее получения используются различные виды моделирования. Наиболее доступным методом исследований является физическое моделирование. В последние десятилетия интенсивно развивается новое направление исследования локальных характеристик потоков – электродиффузионная диагностика, основанная на зависимости величины тока между помещенными в поток электродами от скорости обтекания рабочего электрода электролитом заданного состава.

На кафедре литейного производства ДДТУ успешно используется установка для измерения турбулентных пульсаций диффузионного тока. Электронный блок электрохимического анемометра обеспечивает возможность локальных измерений массообмена, имеет блок питания электрохимической ячейки и два независимых канала усиления, которые обеспечивают режим ступенчатой поляризации электрода, режим анодно-катодной активации. Прибор снабжен блоком регистраторов нагрузки, напряжение с которых может поступать на фильтры верхних или нижних частот. Регистрация выходного сигнала производится электронным амперметром и запоминающим осциллографом типа С8-13. В качестве первичных датчиков использовались платиновые микроэлектроды.

Для моделирования гидродинамики металла в литейных ковшах создана прозрачная экспериментальная установка в масштабе 0,6 реального ковша. Определяющими критериями при создании модели и исследованиях являлись число Лапласа и модифицированное число Фруда. Металл моделировали электролитом, содержащим  $K_3Fe(CN)_6$  ( $2,50 \cdot 10^{-2}$  кмоль/м<sup>3</sup>),  $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$  ( $2,50 \cdot 10^{-2}$  кмоль/м<sup>3</sup>),  $K_2SO_4$  ( $2,30 \cdot 10^{-1}$  кмоль/м<sup>3</sup>), растворенных в дистиллированной воде. В днище модели устанавливали продувочный узел, расположение которого меняли в зависимости от условий эксперимента. Для продувки жидкости применяли сжатый воздух.

В процессе холодного моделирования исследовали гидродинамику металлической ванны при подаче в агрегат газа с интенсивностью 1,2...3,2 л/(мин·т).

В результате проведения экспериментов установлено, что, в целом, поведение металла в объеме литейного ковша не носит ярко выраженного стабильного характера ввиду возникновения большого количества отрывных течений, приводящих к появлению турбулентных пульсаций. При росте расхода газа происходило увеличение флуктуации потоков. Вместе с тем, для решения технологических задач можно принять, что расположение вихрей в полости

ковша носить практично симетричний характер относительно вертикальної площини, проходящей через осі продувочного узла и ковша.

Использование метода електродиффузионной діагностики дозволило визначити кількісні значення швидкостей потоків металу в найбільш характерних зонах литейного ковша. Визначені швидкості потоків металу, напрямлення и розташування вихрей. Знайдено, що в об'ємі ковша при продувці має місце 6...8 достатньо стабільних замкнутых гідродинамічних потоків, інтенсивність и число которых визначаються, відповідно, витратом газу и розташуванням продувочного узла. В подальшому отримані дані послужили для доказательств адекватності розробленої нами сопряженої математическої моделі тепло- и масообмінних процесів в литейних ковшах.

В цілому, проведені дослідження дозволили визначити кількісні характеристики поведінки металу в об'ємі литейних кувшет при продувці їх газом, його раціональні режими подачі, розташування застоїних зон, намалювати шляхи по скороченню їх об'єму, способи и місця раціонального вводу різних присадок.

**Грищенко А.В. Кіщенко О.М**  
*(КТУ, м. Кривий Ріг)*

### **ЗБІЛЬШЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ПРОДУКЦІЇ ЛИТВА ЗА РАХУНОК ЗМІНИ КОНСТРУКЦІЇ КОКІЛЯ**

КТУ було запропоновано НВП «Фероліт», дослідити мелючі тіла, які виготовляє підприємство литтям у кокіль. Запропонувати варіант підвищення продуктивності та зменшення витрат.

Актуальною задачею на сьогоднішній день в Україні є зменшення собівартості готової продукції. При литві у металеву форму, цю задачу можливо розв'язати за рахунок вдосконалення конструкції кокілю.

У ході проведення дослідів за допомогою програми LVMFlow(Demo), було прийнято рішення залишити незмінну довжину та ширину кокілю та збільшити глибину з 60 мм до 80 мм, з метою збільшення порожнин для заливки в них синтетичного чавуну, продуктивність виробництва шарів збільшилась в два рази. Така конструкція дозволяє застосовувати кокіля без закупівлі нового обладнання.

В експерименті було розроблено декілька варіантів конструкцій кокілю і вирішено, що найбільш підходить форма кокілю з геометричною формою нижнього живильника шириною 14 мм, а довжиною 8 мм, а верхній живильник виконаний зажимом «лійкою» з параметрами 30 мм та 14 мм.

Досліджувальний діапазон температури заливки синтетичного чавуну 1360...1410 °С.

Об'єм порожнини в ряду куль складає 1,49% від загального об'єму відливання. З підвищенням температури заливки область пористості зменшилась на  $0,6 \text{ см}^3$ .

Як показав дослід, з підвищенням температури заливки зона пористості зменшилась ще на  $0,6 \text{ см}^3$ . Аналіз приведених дослідів показав, що мінімальна наявність пористості при заливанні синтетичного чавуну температурою  $1410^\circ\text{C}$ . На підставі цього вибрана  $t = 1410^\circ\text{C}$ .

Метал у формі кристалізується в 2,1 рази швидше. Напрямок кристалізації металу в ливарні форми від поверхні вилівка кулі до його центру.

Завдяки впровадженню кокілів запропонованої конструкції (рис. 1) збільшиться продуктивність праці та річний прибуток в два рази.

Брак виливків та собівартість готової продукції зменшиться за рахунок виплавки синтетичного чавуну, який істотно відрізняється від ваграночних чавунів більш високими міцними властивостями при однаковій твердості й оброблюваності, при цьому містить менше сірки і газів, що не потребує додаткових затрат на їх видалення.

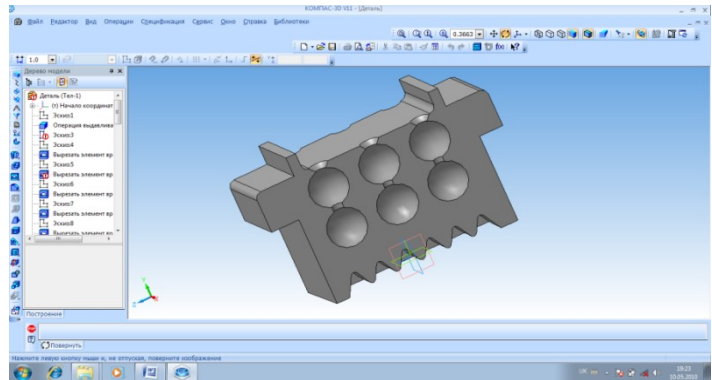


Рисунок 1 – Конструктивний вигляд кокілю для відливання куль та кокіль, розроблений за допомогою програми КОМПАС для лиття чавунних куль, що мелють, діаметром 60 мм

Прибуток збільшиться на 33 % за рахунок збільшення кількості готової продукції, а час, який потрібно затратити на її виготовлення, залишиться незмінним.

Термін окупності складе 6 тижнів, при чому кокілі розраховані на використання більш ніж на 10 тисяч заливок, що складає їх придатність на півроку.

**Будаг'янц М.А., Жижкіна Н.О., Гутько Ю.І.**

*(СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ)*

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ВАЛКІВ ДЛЯ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ**

Валки є основним робочим інструментом у прокатних, паперових, гумовотехнічному виробництвах і харчовій промисловості. Вони визначають якість і сортамент продукції, вихід придатного й витрати матеріалів. От чому валки повинні мати високі експлуатаційні властивості. Але кожне виробництво має свої технологічні особливості й умови експлуатації валків.

Аналіз умов експлуатації валків у листових станах гарячої прокатки показав, що вони одночасно піддаються зношуванню, знакозмінним термічним, ударним навантаженням. У процесі експлуатації тут виникають моменти, що згинають й крутять. Отже, виріб одночасно повинен характеризуватися високою твердістю, міцністю й пластичністю, рівень яких залежить від призначення валка. Результати власних досліджень роботи прокатного інструмента показали, що умови експлуатації залежать від конструкції стана, питомих тисків, норми одного наробітку за установку, інтенсивності охолодження й місця розташування валків.

Застосування високоефективних матеріалів і створення нових технологій виготовлення валків забезпечують підвищення експлуатаційних характеристик прокатного інструмента. Виробництво листопркатних валків двошаровим методом у стаціонарні форми забезпечує одночасно одержання високого рівня твердості й міцності. Для формування робочого шару й серцевини валків звичайно застосовують сталі й чавуни різних составів. Їхній вибір залежить від умов експлуатації валків. У чорнових клітях застосовують сталеві литі й низьколеговані чавунні валки. Для чистових груп клітей використовують високолеговані чавунні валки з підвищеною твердістю 74...80 HSD.

Розроблення технології відцентрового лиття дозволило застосувати для робочого шару нові матеріали високої твердості й зносостійкості та забезпечити необхідну міцність серцевини валків. Відцентрове лиття розширило можливості в керуванні якістю валка шляхом регулювання різних технологічних параметрів. Спільний вплив відцентрової сили обертової форми й більш високої швидкості кристалізації виливка при такій технології впливає на кристалізацію поздовжніх дендритів, а отже підвищує щільність і рівномірність валкових структур.

**Висновок.** Стійкість і надійність валків залежить від умов їхньої експлуатації в прокатному стані. Одержати формуючий інструмент, стійкий одночасно до зношування й поломок можливо шляхом застосування високоефективних матеріалів і створення відцентрового лиття. Шляхом зміни хімічного складу й регулювання технологічних параметрів лиття управляють якістю валка відповідно до вимог замовників. Разом з тим обсяги споживання металопродукції, що зростають на світовому ринку, вимагають поліпшення експлуатаційних показників таких валків. Тому науково-дослідна робота в цьому напрямку триває.

**Богушевський В.С., Заболотна І.О.**

*(НТУУ «КПІ»)*

## **КРИТЕРІЙ РАЦІОНАЛЬНОГО ОБ'ЄМУ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ**

Процес проектування АСКТП має ітераційний характер, на першому кроці якого виконується техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) розробки системи, що засноване на очікуваних показниках охоплення контролем виробництва і якості готового продукту, який отримують без корекції, а також еко-

номічної ефективності. ТЕО – фундамент критерію раціонального об'єму автоматизації (КРОА).

Ступінь складності технологічного об'єкту керування (ТОК) визначається кількістю його входів і виходів, а також функцій, що виконуються. По інформаційному навантаженню технологічні об'єкти металургії відносяться до об'єктів з малою інформаційною потужністю (до 200 змінних). Об'єкт автоматизації визначає специфіку його АСКТП:

- підвищення техніко-економічних показників виробництва є найбільш суттєвим фактором автоматизації ТОК. При відсутності цього фактору автоматизація такого об'єкту стає нерентабельною;

- в АСКТП завжди є якась частка ручного управління, що виконується оперативним персоналом. Чим досконаліший технологічний процес, рівень цехової механізації і локальної автоматизації, тим менша частка ручного керування. Однією із головних вимог до технологічного процесу є його підготовка до роботи з АСКТП в частині максимально можливого виключення впливу неконтрольованих збурень технологічного й організаційного характеру.

Теоретично АСКТП може охоплювати всі функції керування процесом, але вартість такої системи буде надто великою. Тому потрібно автоматизувати лише частину функцій керування, вибравши задачі, автоматизація яких найбільш доцільна й дає найбільший економічний ефект. Для цього проводять технологічні дослідження, що дозволяють виявити економічні вигоди при реалізації тієї чи іншої функції з тією чи іншою точністю. Крім того, проектування АСКТП ведеться з урахуванням сучасного стану й розвитку цеху і підприємства в цілому, тому існуючі технічні засоби, що вже використовуються на підприємстві, зокрема засоби обчислювальної техніки, грають велику роль при проектуванні. Вибір комплексу технічних засобів системи проводять на початковій стадії її проектування шляхом детального вивчення об'єкту, сучасного стану приладобудування, умов функціонування агрегатів.

КРОА має екстремальну природу. Так, наприклад, оцінка мінімально допустимої швидкості роботи процесора, що забезпечує оперативне керування швидкоплинним процесом в реальному масштабі часу, значно впливає на вартість устаткування. Для здешевлення обслуговування бажано розміщувати обчислювальну техніку (ОТ) централізовано, але це призводить до таких небажаних наслідків, як зростання витрат на збирання інформації (від пристрою збирання інформації централізованої ОТ треба прокласти лінії зв'язку до кожного засобу вимірювання), необхідність забезпечення надійності (резервування засобів централізованої ОТ) та ін. Все це вимагає проведення економічних досліджень при виборі функцій, що виконуються централізовано й розподілено.

Таким чином, КРОА, що правильно вибраний, слід розглядати як одну із найважливіших речей забезпечення високого рівня техніко-економічної ефективності функціонування АСКТП.

**Замятин Н.И.**  
**(ОНПУ, м. Одеса)**  
**МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЛИТЬЕ**  
**ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК**

Достаточно часто в литейном производстве встречаются дефекты отливок, которые непосредственно вызваны нарушением технологии производства. Для того, чтобы избавиться от дефектов литья, необходимо выяснить причины его появления.

Создавая художественное изделие, статуэтку, скульптуру, цель которых – украшать интерьер или возвеличивать какое-либо событие, художник руководствуется, прежде всего, своим вдохновением. А между тем, у изделия имеется и практическая сторона, на которую следовало бы обращать больше внимания. И поняв, почему бывает так трудно отлить ту или иную модель, и что именно нужно изменить, чтобы эти трудности устранить, возможно создать такой дизайн, который и упростил бы процесс изготовления отливки, и сделал бы его более надежным и экономичным.

К сожалению, многие художники создают свои произведения без учета технологических возможностей литейных мастерских. В результате этого получают некачественные или бракованные изделия, тратится масса времени и денег на исправление брака или изготовление новой модели, что не всегда является возможным, так как чаще всего они бывают в единичном экземпляре.

Понятно, что отливка не может быть качественнее мастер-модели. Потери качества происходят на всех этапах изготовления изделия. При снятии резиновой пресс-формы, при изготовлении восковой модели, при формовке и, наконец, при литье.

Целью работы является минимизация дефектов, возникающих при литье художественных отливок по выплавляемым моделям.

Основными причинами брака литья художественных отливок являются: неправильная конфигурация и сечение литниково-питающей системы, низкая или высокая температура формы и металла в момент заливки, нетехнологичная модель, недостаточное внешнее воздействие на расплавленный металл.

Анализируя практический опыт изготовления художественных отливок, можно дать следующие рекомендации: питать отливку рекомендуется в самые толстые части, стараясь не повредить рисунок отливки питателями. Для этого лучшим местом для подвода питателей является тыльная сторона отливки. Диаметр питателя при этом должен быть больше толщины стенки отливки. Удаленные и выступающие части отливки также рекомендуется запитать дополнительными питателями меньшего сечения.

Температура формы и металла при заливке влияют на качество поверхности отливки, на заливаемость формы, усадочную пористость и раковины. Чаще всего эти параметры подбираются экспериментальным путем, исходя из опыта предыдущих заливок. При этом температура формы и металла постепенно снижается от максимальной для данного вида отливки до минимальной, дающей наилучшее качество литья.

В условиях, когда модель существует в единственном экземпляре, рекомендуется выбирать более высокую температуру формы и металла, жертвуя некоторой потерей качества поверхности. Затраты, отнесенные на исправление дефектов поверхности (в основном это повышенный пригар), будут в значительной степени ниже, чем изготовление новой модели.

Избежать некоторые ошибки при проектировании художественных отливок позволяют и современные системы САПР (Delcam и т.д.). Они уже на первой стадии проектирования позволяют выявить наиболее распространенные ошибки конфигурации отливки и литниково-питающей системы.

**Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В., Доценко Ю.В., Муха Д.В.**  
*(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)*  
**ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ В ОТЛИВКАХ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ПРОЦЕССЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ**

С использованием компьютерной программы «ASImprints» для цифровых изображений фрагментов серных отпечатков темплетов цилиндрических отливок из стали 35Л, полученных при различных режимах газодинамического воздействия, были сформированы массивы значений площади включений и соответствующего им количества включений для каждой из выбранных зон. При этом ширина осевой зоны по радиусу отливки составила 40 мм, радиальной зоны – 60 мм, периферической – 20 мм. Установлено, что степенная аппроксимация более точно описывает распределение сульфидных включений для фрагментов изображений серных отпечатков. Для каждого из полученных массивов данных определили параметры функции плотности вероятности степенного распределения и значения  $R^2$  (табл. 1).

$$N(s) = As^\lambda \text{ при } s \geq 1, \quad (1)$$

где  $A$  – масштабный коэффициент, обратно пропорциональный площади фрагмента;

$\lambda$  – параметр формы степенного распределения.

Таблица 1 – Параметры функций взаимосвязи количества включений и их размера (плотности вероятности степенного распределения), а также достоверность аппроксимации

№ плавки	Зоны сечения отливки								
	осевая			радиальная			периферическая		
	$A$	$\lambda$	$R^2$	$A$	$\lambda$	$R^2$	$A$	$\lambda$	$R^2$
1	59,2	-0,89	0,79	60,1	-0,91	0,83	288,0	-1,43	0,94
2	77,7	-0,96	0,82	148,2	-1,37	0,91	175,3	-2,03	0,88
3	127,6	-1,21	0,88	178,3	-1,39	0,88	337,0	-2,06	0,96

Получены зависимости масштабного коэффициента  $A$  и параметра формы степенного распределения  $\lambda$  от режима осуществления газодинамического



воздействия (прежде всего, давления  $P$ , МПа), аппроксимирующие их линейной функцией вида  $y(x) = kx + b$ :

$$\text{Периферическая } A(P) = 23,58 P + 282,12 \quad R^2 = 0,93, \quad (2)$$

$$\text{Радиальная } A(P) = 85,54 P + 52,13 \quad R^2 = 0,93, \quad (3)$$

$$\text{Осевая зона } A(P) = 73,52 P + 27,73 \quad R^2 = 0,84; \quad (4)$$

Аналитические зависимости (2–4) позволяют интерполировать значения параметров степенного распределения и тем самым составить прогноз распределения сульфидных включений в выбранных зонах поперечного сечения данной цилиндрической отливки, затвердевающей в неохлаждаемом кокиле, при заданном режиме газодинамического воздействия. В табл. 2 представлены сравнительные результаты расчета удельного количества включений ( $K_N, \text{шт}/\text{мм}^2$ ) в осевой (О), радиальной (Р) и периферической (П) зонах изображения серных отпечатков (5):

$$K_N = \frac{N_{B\Phi}}{S_\Phi}, \quad (5)$$

где  $N_{B\Phi}$  – количество включений во фрагменте, шт;

$S_\Phi$  – площадь фрагмента,  $\text{мм}^2$ .

Таблица 2 – Сравнительные данные по распределению сульфидов

№ плавки	Удельное количество включений, шт/мм <sup>2</sup>								
	эксперимент			расчет			отклонение, %		
	О	Р	П	О	Р	П	О	Р	П
1	2,08	1,77	0,96	2,28	2,09	1,16	10	18	21
2	1,96	1,59	0,96	2,24	1,84	1,11	14	16	16
3	2,35	2,15	1,78	2,79	2,52	2,13	19	17	20

**Богушевський В.С., Смашнюк Ю.О.**

**(НТУУ «КПІ»)**

### **ФУНКЦІЇ АСКТП МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ**

Автоматичні системи керування технологічним процесом (АСКТП) – це сукупність математичних методів, засобів вимірювання параметрів, обчислювальної техніки, пристроїв зв'язку, введення й відображення інформації, організаційних комплексів й обслуговуючого персоналу, що забезпечують управління у відповідності зі загальним критерієм або заданою цільовою функцією й раціональне використання всіх ресурсів для досягнення її екстремуму. У якості обмежень приймаються конструктивні дані об'єкта керування, а як граничні умови – область допустимих режимів його функціонування. Метою створення АСКТП є інтенсифікація технологічного процесу; збільшення випуску заказа-

ної продукції; координація технологічного і виробничого процесу; скорочення об'єму монотонної ручної праці й праці у шкідливих умовах.

Як правило, сучасні АСКТП в металургії є трьохрівневими, ієрархічними й багатофункціональними системами, які призначені для контролю інформації про технологічні параметри (нижній рівень), управління якістю і продуктивністю (середній рівень), статистичного аналізу зібраної інформації, оптимізації технологічного режиму, настроювання і навчання нижчих рівнів системи й управління виробництвом (верхній рівень).

Логіка і характер функцій, що виконуються окремими компонентами АСКТП в процесі її функціонування, відображені на рис. 1.

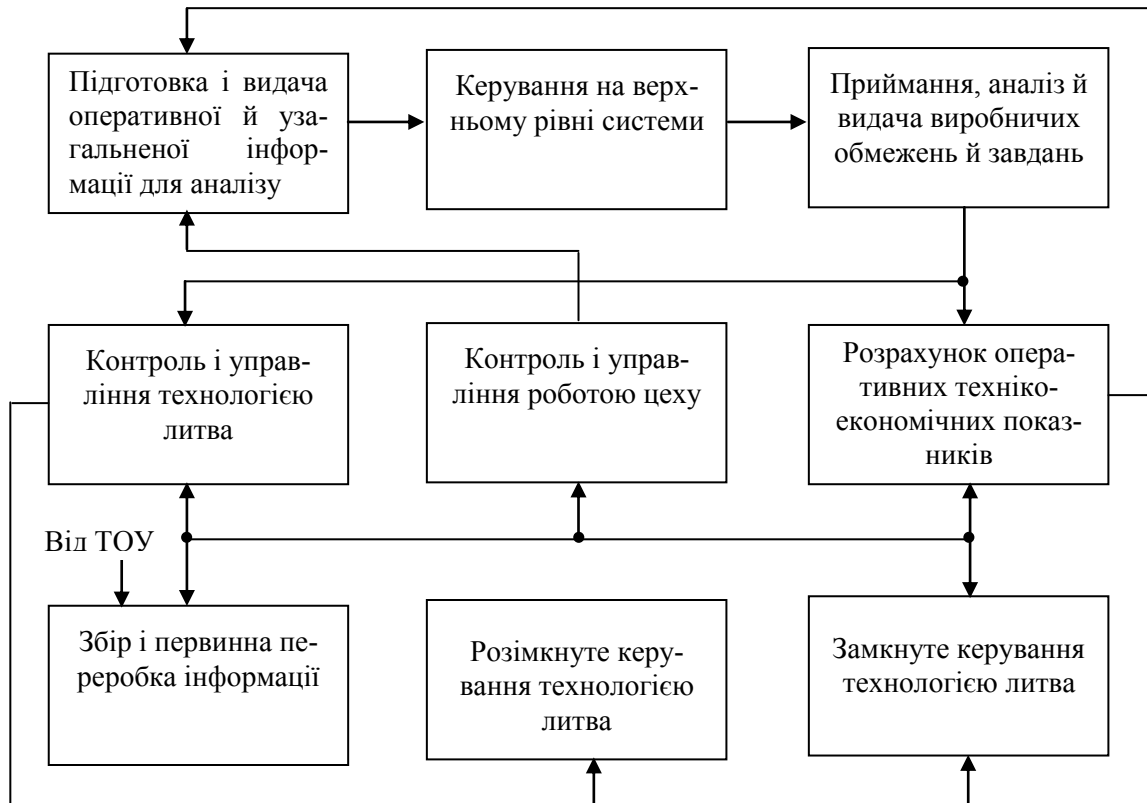


Рис. 1 – Функціональна схема АСКТП ливарного цеху

Сучасні АСКТП компонуються із типових функціонально-модульних блоків, що своєю автономією забезпечують функціональну розширюваність системи. Функціональний модуль складається із модулів опитування датчиків, введення інформації з пульта оператора-технолога (автоматизоване робоче місце), зберігання інформації, обробки й аналізу інформації, видачі вихідної інформації, зокрема відхилень вихідних параметрів від заданих значень на засоби відображення й регулятори, передачі інформації на верхній рівень системи. За ступенем участі людини в управлінні об'єктом АСКТП функціонують у таких режимах: інформаційно-порадчому, при якому засоби автоматизації (ЗА) виконують централізований контроль і видають персоналу інформацію про хід технологічного процесу й стан устаткування; комбінованому, при якому ЗА автоматично змінюють установки і параметри настроювання локальних систем

керування; прямого цифрового керування, при якому ЗА забезпечують безпосереднє керування виконавчими механізмами. У період пуску й завершення експлуатації об'єкта, а також у нестандартних й аварійних ситуаціях об'єктом керують вручну.

Правильно вибрана технічна структура АСКТП забезпечує виконання цільової функції керування й здатність до функціонування системи при частковому її виході із ладу з урахуванням мінімально можливої кількості ієрархічних ступенів.

**Соценко О.В.**

*(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)*

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ФОРМЫ ГРАФИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ**

Диапазон новых литейных технологий в последние годы значительно расширился вследствие использования современной компьютерной техники и программного обеспечения, специализированного для решения задач литейного производства. Исследование влияния различных технологических факторов на формирование структуры отливок перестает быть сферой интересов только металлургов. Методы количественной металлографии давно и успешно используются литейщиками. Использование компьютерных технологий позволяет не только количественно оценить соотношение различных структурных составляющих, но и по плоским сечениям микрообъектов (графит, неметаллические включения и др.) составить определенное представление не только об их пространственной форме, но и о наиболее вероятном механизме их формирования.

В качестве примера показана техника компьютерной стереологической реконструкции с построением 3D модели графитного включения, по форме отличающегося от «идеальных» шаровидных включений. Со стандартно увеличенных микрофотографий последовательных сечений исследуемого объекта (рис. 1, поз. 1-8) снимали контурные копии одновременно с фиксированными реперными точками – прямоугольными метками в углах микрофотографий на рис. 1. Эту процедуру выполняли с использованием программы *ImageJ*. Для загрузки в программу изображений исследуемого объекта использовали микрофотографии нетравленных шлифов (см. рис. 1, поз. 5-8) предварительно переведенных из серых полутонов в одноцветные черно-белые изображения (см. рис. 1, поз. 9-12). Эти изображения последовательно загружали в программу *ImageJ*, преобразовывали в 8-битовый формат, бинаризировали и в результате получали контурную копию исходного изображения.

Из 30 контурных изображений структуры последовательных сечений графитного включения (см. рис. 1, поз. 13-15) с прозрачным фоном с помощью графического редактора строили изогипсограмму (см. рис. 1, поз. 16), ориентируя контуры очертаний графита по реперным точкам. Каждая контурная ко-

пия является изогипсой, характеризующей удаление соответствующего сечения объекта от плоскости предыдущего сечения на толщину сошлифования.

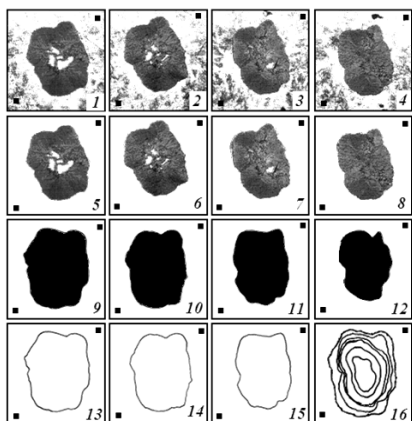


Рис. 1 – Этапы построения изогипсограммы объекта

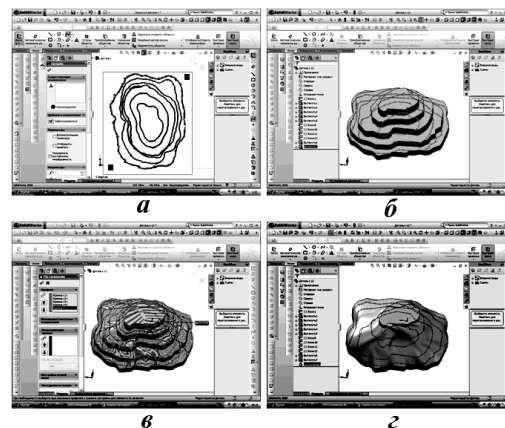


Рис. 2 – Этапы построения 3D модели объекта по изогипсограмме

Для получения пространственного изображения объекта (3D-модель) использовали программу *SolidWorks*. В графическую область программы вставляли точечный рисунок с изогипсограммой. Интерфейс программы после загрузки файла изогипсограммы показан на рис. 2, а. Инструментом *сплайн* обрисовывали контуры изограммы и сохраняли полученное изображение в виде эскиза для построения 3D-модели объекта.

Каждый контур изогипсограммы с помощью инструмента *вытянутая бобышка* вытягивали на толщину слоя сошлифования. В результате получали объемное ступенчатое изображение искомой модели (см. рис. 2, б). Для сглаживания поверхности модели объекта использовали инструмент *бобышка по сечениям* (см. рис. 2, в). В результате получили искомую сглаженную 3D-модель с видимыми контурами изогипс (см. рис. 2, г).

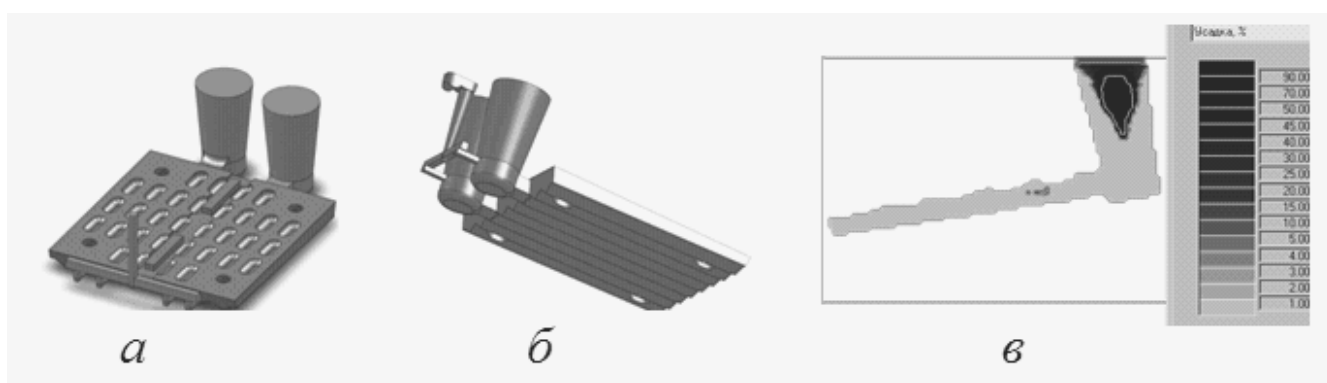
**Соценко О.В., Белич А.В., Посыпайко И.Ю., Шейдаев К.В.**  
(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13Л**

Современные условия производства в литейных цехах требуют систематического улучшения качества изготавливаемых изделий, сокращения сроков разработки технологии производства отливок и модельной оснастки, удешевления выпускаемой продукции, повышения ее конкурентоспособности на рынках СНГ и Европейского союза. Растущие требования промышленности стало возможным в значительной мере удовлетворять на базе результатов компьютерного моделирования, получаемых при использовании современных программных комплексов, которые позволяют обеспечить разработку и усовершенствование технологий литейного производства в кратчайшие сроки.

Для компьютерного моделирования технологического процесса производства крупных отливок типа плит из стали 110Г13Л с минимизацией прогнозируемых дефектов усадочного характера использовали комплекс программных пакетов SolidWorks – LVMFlow.

Для моделирования процессов формирования отливки «Плита дробящая» массой жидкого металла 5600 кг (рис. 1, а, б) в процессорном модуле «Полное задание» программы LVMFlow применили следующие начальные установки и параметры: размер ячейки – 12 мм; общее количество ячеек – 908208; узлов отливки – 102040; объем требуемой памяти – 55,5 Mb; материал отливки – легированная сталь 110Г13Л; материал формы – чистый кварцевый песок; заданная температура заливки – 1470 °С; начальная температура кокиля и песчаной формы – 20 °С; способ заливки – литье из ковша; прекращение расчетов – достижение в отливке 300 °С.



а – подвод металла в тело отливки; б – подвод металла в прибыль;  
в – зоны локализации усадки

Рис. 1 – 3D модель плиты дробящей, созданная в SolidWorks и импортированная в программу LVMFlow

В процессе моделирования было реализовано 7 вариантов технологических решений изготовления отливки «Плита дробящая», в которых были опробованы различные сочетания способов подвода металла в полость формы, количества и размерных параметров прибылей и элементов литниковой системы, наклона литейной формы при заливке металла.

В результате моделирования процесса формирования отливки в программе LVMFlow определены наиболее рациональные размеры прибыли. Подвод металла через прибыль способствует лучшей компенсации объемной усадки. Применение наклона формы на 10° с объемной стороны отливки позволяет получить отливку более высокого качества.

Результаты компьютерного моделирования дали возможность адекватно прогнозировать расположение усадочных зон, скорость заливки, время затвердевания и охлаждения отливки. Следует отметить, что наиболее рациональная технология из всех подвергнутых моделированию все же не устраняет небольшую (20%) усадочную зону в соответствии со шкалой усадки (рис. 1, в) в модуле «Полная задача». Тем не менее, практически доказано, что наличие

этой зоны существенно не влияет на работоспособность и надежность отливки в условиях динамических и абразивных нагрузок.

Соценко О.В., Посыпайко И.Ю., Куркострига И.А.  
(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФОРМЫ ГРАФИТА В ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ

При классификации графитных включений (ГВ) в высокопрочном чугу- не в соответствии с ГОСТ 3443–87 исходят из сравнительной оценки реальных микроструктур с эталонными изображениями. Такой метод сопряжен с риском субъективности оценок, особенно в переходных структурах между вермикуляр- ным и шаровидным графитом.

Цель данной работы – разработка методики компьютерного анализа ГВ в высокопрочном чугуне с оценкой количественной статистически значимой взаимосвязи коэффициента формы графита с эталонными изображениями гра- фитных структур по ГОСТ 3443–87.

Для количественной оценки индивидуальных и обобщенных характери- стик ГВ в эталонных изображениях графитных структур по ГОСТ 3443–87 ис- пользовали компьютерную программу *ImageJ* (*Freeware*).

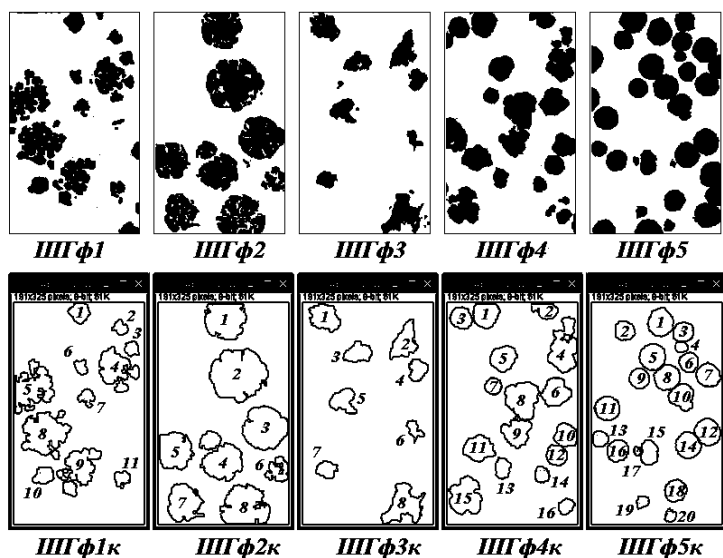


Рис. 1 – Эталонные и контурные изображения  
ВГ

Для загрузки в про- грамму изображений иссле- дуемых объектов использо- вали микрофотографии-эталон- ы из ГОСТ 3443–87 (рис. 1, верхний ряд) предвари- тельно переведенные из серых полу- тонов в одноцветные черно- белые изображения. Эти изо- бражения последовательно загружали в программу *Im- ageJ*, преобразовывали в 8- битовый формат, бинаризо- вали и в результате получали контурные копии исходных ГВ с нумерацией (рис. 1, нижний ряд) для последую-

щей идентификации их с индивидуальными количественными оценками в ре- зультатирующем файле.

Фактор формы  $F_\phi$  отдельных ГВ и их группировок в полях оцифрован- ных микрофотографий, выполненных при постоянном увеличении, оценивали в полуавтоматическом режиме по формуле:

$$F_\phi = 4\pi S/P^2, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь графитного включения;

$P$  – периметр включения.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном различии средних значений  $F_{фср}$  для различных эталонов при неизвестных генеральных дисперсиях была проведена проверка нуль-гипотезы  $H_0 : F_{фсрi} = F_{фсрj}$  с использованием  $t$ -отношения Стьюдента.

Расчеты с доверительной вероятностью 0,95 показали, что эталонные микроструктуры ШГф1 и ШГф2 при кажущемся визуальном различии, имеют фактически одинаковые  $F_{фср}$  и на практике не могут быть использованы для статистически обоснованной дифференцированной оценки компактности графита в представленном диапазоне структур. Аналогичный результат получен и для пары микроструктур ШГф2-ШГф3. Для пар микроструктур ШГф3-ШГф4 и ШГф4-ШГф5 различия средних значений фактора формы оказались статистически значимыми.

Проведенный анализ статистической значимости различий между эталонными ГВ позволил найти регрессионно-корреляционную связь между фактором формы  $F_{ф}$  и номером эталонной структуры из ГОСТ 3443–87. Наличие графической и аналитической форм такой взаимосвязи позволяет выполнять практически «прецизионное» компьютерное определение фактора формы реальных ГВ и с достаточно высокой точностью переводить их значения в эталонные оценки ГОСТ 3443–87 и, наоборот – от эталонных структур к фактору формы.

**Соценко О.В., Посыпайко И.Ю., Савега В.С., Савега Д.А.**

*(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)*

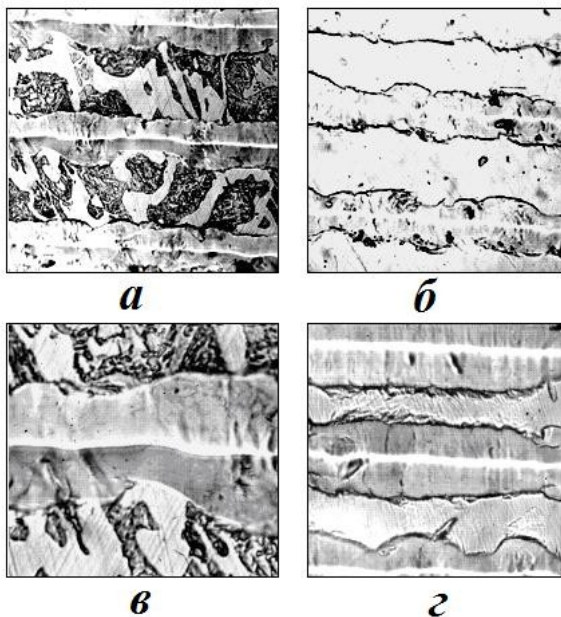
## **ХРОМИСТЫЕ ЧУГУНЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ**

Целью настоящей работы являются исследования по выбору износостойкого сплава для изготовления насадок и накладок для лопастей смесителей. В результате предварительных исследований условий работы указанных деталей установлено, что их целесообразно отливать из высокохромистых чугунов. Известно, что такие чугуны наряду с удовлетворительной пластичностью и прочностью характеризуются весьма высокими показателями износостойкости.

Исследование изношенных лопастей показало, что основной причиной выхода лопастей из строя является интенсивный абразивный износ. Под действием давления перемещиваемой массы скользящие частицы вызывают пластическое деформирование поверхностного слоя, а также микрорезание выдавленных по сторонам канавки слоев металла (рис. 1).

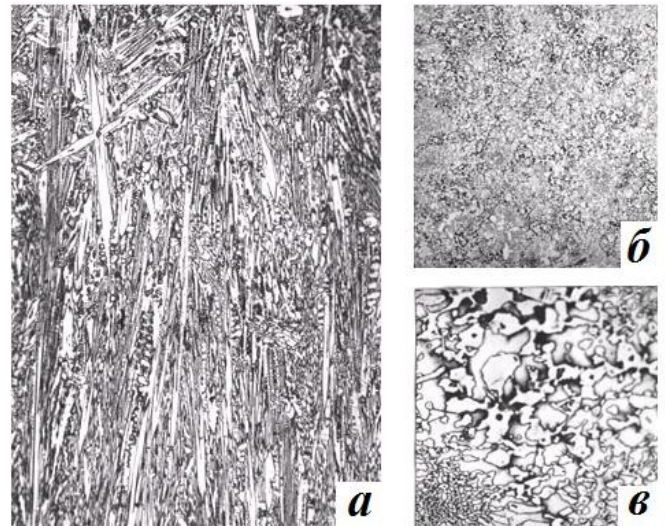
Для изготовления износостойких деталей применяли чугуны, содержащие 10...30 % хрома и 1,5...3,5% углерода. Первичная структура чугуна и состав эвтектики зависят от химического состава. Общий объем карбидной фазы изменяется в пределах от 30% до 60% и определяется соотношением Cr/C и количест-

вом этих элементов. Объем карбидной фазы возрастает примерно на 10% при увеличении содержания углерода на 1% и на 1% при увеличении содержания хрома.



а, в – травлено; б, г – без травления

Рис. 1 – Деформационные трассы микрорезания в поверхностном слое чугуна (x500)



а – первичные эвтектические карбиды (x300); б, в – продукты распада +  $Me_3C$  и продукты распада +  $Me_7C_3$ :  
б – x100; в – x500

Рис. 2 – Микроструктура чугуна

Износостойкость определяется как структурой, так и твердостью сплава, которые в свою очередь зависят от количества вводимых в него легирующих элементов. Легирующие элементы определяют тип карбидов и металлическую основу белых чугунов. Наиболее благоприятное расположение структурных фаз наблюдается, когда твердые структурные составляющие залегают в виде изолированных друг от друга включений в более мягкой и пластичной основе, что в наилучшей мере обеспечивает не только высокую износостойкость, но также прочность и вязкость сплава.

Износостойкость сплавов повышается особенно при комплексном легировании белого чугуна различными элементами. Структура такого сплава после кристаллизации (рис. 2) состоит из двух видов эвтектик:  $\gamma$  (продукты распада) +  $Me_3C$  с ортогональной решеткой и  $\gamma$  (продукты распада) +  $Me_7C_3$  с тригональной решеткой. При достаточно высоком содержании легирующих элементов образуются устойчивые мелкодисперсные карбиды  $Me_3C$ . В литом состоянии сплав имеет твердость 45...47 HRC. После закалки и отпуска он приобретает твердость 50...60 HRC. Поверхность, подвергаемая износу с такой твердостью, обеспечивает высокую износостойкость.



Опыт применения хромистых чугунов для литья насадок и накладок, показал, что их износостойкость позволяет в 5...7 раз увеличить срок службы лопастей и шнеков в промышленных агрегатах.

**Соценко О.В., Посыпайко И.Ю., Савега В.С., Савега Д.А.**

*(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)*

### **ИЗНОСОСТОЙКИЕ НАКЛАДКИ И НАСАДКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ**

Одним из направлений в обеспечении абразивной износостойкости промышленных смесителей является литье насадок и накладок на лопасти и шнеки из легированных сплавов и отбеленного чугуна. Высокохромистые чугуны с добавкой других легирующих элементов успешно применяются для изготовления таких деталей, что обеспечивает их высокую износостойкость и долговечность.

Объектом исследования на износостойкость являются детали смесительного и прессового оборудования предприятий по производству строительных материалов. Быстрый износ рабочих органов значительно снижает производительность такого оборудования. Так, срок службы лопастей смесителей составляет всего 40...70 часов.

Проведенными исследованиями установлено, что в процессе изнашивания рабочая часть лопастей претерпевает большие геометрические изменения. Основными из них являются: укорочение рабочей части, образование площадок износа на передней грани, изменение толщины лопастей, увеличение углов заострения. Для восстановления изношенных лопастей необходимы вынужденные остановки оборудования на значительное время, что снижает производительность агрегата.

Механизм изнашивания шнеков подобен механизму износа лопастей. Изнашивание кромок лопастей шнека приводит к увеличению зазора между наружной частью лопасти и внутренней частью корпуса, который не должен превышать 2...3 мм. Увеличение зазора вызывает возврат массы через зазор и снижает производительность агрегата.

Предлагается область наибольшего износа лопастей защищать насадками из износостойких чугунов, общий вид которых приведен на рис. 1. Основание лопасти изготавливается из стали Ст. 30. Для ориентации насадок первой опытной серии на основании фрезеровали уступ, имеющий форму паза в насадке (рис. 1, а). Упрощение монтажа без дополнительной механической обработки основания лопасти достигается путем использования насадок видоизмененной конструкции (рис. 1, б). Такая конструкция имеет взаимно перекрывающиеся элементы и позволяет точно воспроизводить криволинейную форму основания лопасти (рис. 1, в). Однотипные насадки последовательно насаживают на основание лопасти без дополнительного крепления. Последняя насад-

ка, имеющая монтажное отверстие, крепится к основанию лопасти болтом с потайной головкой.

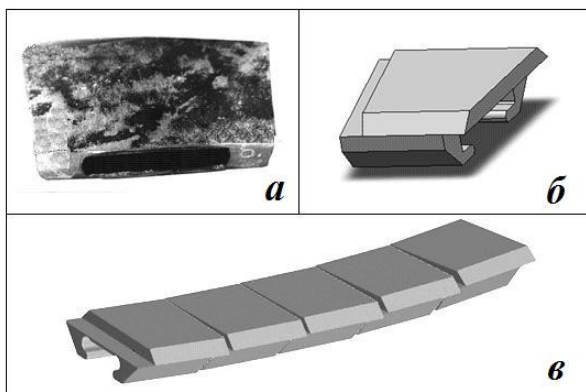


Рис. 1 – Виды насадок для лопастей смесителей: а – с замкнутой монтажной полостью; б – с открытой монтажной полостью; в – общий вид комплекта

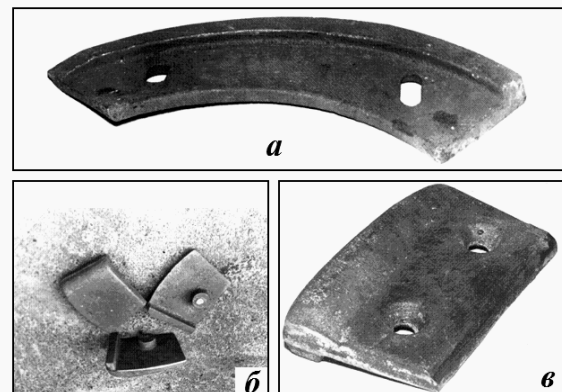


Рис. 2 – Виды накладок для лопастей и шнеков: а – удлиненные с двусторонней ребордой; б, в – с односторонней ребордой

С целью повышения износостойкости, снижения затрат на ремонт и сокращения времени простоя оборудования также предложено на рабочую поверхность лопастей и шнеков устанавливать защитные накладки из износостойкого чугуна. Для каждой секции шнека изготавливаются набор накладок, отличающихся друг от друга наружным радиусом и углом наклона витка (рис. 2). Такая разбивка образующей секции шнека предусмотрена для удобства литья накладок. Крепление накладок к лопастям шнека осуществляется двумя болтами с потайными головками. Крепежные отверстия в накладках предусмотрены овальные, что позволяет согласовывать кривизну накладок и лопастей.

**Усенко Л.В., Репях С.И., Соценко О.В.**  
*(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)*  
**О МЕТОДАХ УДАЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ  
 ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТЛИВОК**

Проблема повышения качества отливок из алюминиевых сплавов методом литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) продолжает оставаться актуальной. Это обусловлено тем, что при использовании известных способов выбивки и удаления стержней на отливках образуются такие дефекты как повышенная шероховатость, царапины, «забои», «заоваленность» острых кромок и др. По-прежнему при использовании ЛВМ для производства отливок сложной конфигурации, имеющих внутренние полости, карманы и поднутрения, часто возникают затруднения из-за невозможности удаления остатков керамической оболочки и стержней из готовых отливок.

Для удаления стержней из внутренних полостей средне- и крупногабаритных отливок из цветных сплавов используют электрогидравлическую выбивку. Отливки ответственного назначения очищают в пескоструйных, гидропескоструйных, дробемётных и дробеструйных камерах, а также путём химико-термической, электрохимической обработки и др. Основными недостатками очистки отливок абразивными материалами – кварцевым песком, электрокорундом, карбидом кремния и др. – являются значительное пылеобразование и повышение шероховатости поверхности отливок из сплавов на основе меди и алюминия.

Также применяют метод выщелачивания остатков формы из отливок путём их галтовки в водном растворе щёлочи. Однако этот способ очистки не применим к алюминиевым сплавам, так как алюминий активно взаимодействует со щёлочью (KOH, NaOH).

При химической очистке отливок из алюминиевых сплавов их попеременно погружают в холодный и горячий 30...50%-ный водный раствор бифторида калия. Также известен способ удаления остатков керамической оболочки, при использовании которого алюминиевые отливки на 20 мин погружают в нагретый до 500 °С расплав NaOH, содержащий 0,5% Zn. Извлеченные из расплава отливки охлаждают на воздухе и промывают 15...20 с в 3%-ном растворе бихромата калия. После промывки отливки на 5 мин погружают в 16%-ный раствор азотной кислоты и на 20 мин – в кипящий 5%-ный раствор бихромата калия. Затем их промывают в холодной воде и просушивают при 150°C.

Известные методы удаления оболочки формы нередко оказывают негативное механическое или химическое воздействие на материал отливок из алюминиевых сплавов. В частности, может ухудшаться качество поверхности, снижаться размерная точность, но не решается задача полного удаления остатков формы из полостей и отверстий отливки. Поэтому часто возникает необходимость в дополнительных затратных очистных операциях.

Такие операции могут выполняться в несколько этапов – кипячение в чистой воде в течение 40...60 мин, растворение остатков материала формы химически инертными к сплаву отливки растворителями, интенсивная промывка струей воды и др. Все это снижает производительность труда при изготовлении сложных отливок и зачастую не дает ожидаемых положительных результатов.

Одним из направлений решения проблемы повышения качества сложных деталей, получаемых методом ЛВМ из алюминиевых сплавов, является разработка новых водорастворимых композиций на основе солей (в частности, поваренной соли) для изготовления объемных форм и стержней. Предварительный анализ процессов отверждения и растворения соляных композиций для стержней ЛВМ показал возможность исследования и описания отдельных этапов этих процессов с позиций коллоидной химии и кластерно-фрактальной теории. Установлено, что структуры таких композиций и прилегающих к стержню слоев металла могут быть описаны с помощью DLA-модели, используемой для описания различных процессов структурообразования.

**Соценко О.В., Снетков А.С., Белич А.В., Посыпайко И.Ю.,  
Посыпайко Ю.Ю., Шейдаев К.В.  
(НМетАУ, м. Дніпропетровськ)  
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ  
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ**

В мировой практике производства каландровых валов для бумажной промышленности наибольшее распространение получило изготовление их в вертикальных комбинированных формах. Форма для литья каландрового вала состоит из нескольких частей – нижняя шейка (цапфа) вала затвердевает в песчано-глинистой форме, а бочка – в металлической форме – многосекционном массивном кокиле. Масса каландрового вала в зависимости от диаметра (250...1020 мм) и длины (1800...7100 мм) бочки при общей длине 3400...10100 мм составляет 0,70...45,5 т.

Если твердостные характеристики, макро- и микроструктура чугуна каландрового вала при прочих равных условиях регулируется уровнем комплексного легирования и модифицирования, то однородность свойств металла по длине осевой зоны определяется преимущественно интенсивностью процессов затвердевания отливки в радиальном сечении.

*Цель работы:* компьютерное моделирование процесса формирования усадочных дефектов в отливке вала при разной толщине стенки кокиля.

Для решения этой задачи использовали систему автоматизированного моделирования литейных процессов LVM Flow. На рис. 1 показаны расчетные температурные поля затвердевания и охлаждения модели каландрового вала в осевом сечении в разные моменты времени.

Результаты моделирования процессов формирования усадочных дефектов в отливке каландрового вала, затвердевающей в кокильной форме с разной толщиной стенки, представлены на рис. 2. Как следует из полученных результатов, при толщине стенки кокиля 100 мм, усадочные дефекты расположены отдельными локализованными участками в центральной области бочки и шейки отливки (рис. 2, а) с образованием открытой усадочной раковины в прибыльной части отливки.

При увеличении толщины стенки кокиля до 145 мм, наблюдается более выраженная дифференциация зоны усадки на отдельные локальные участки (рис. 2, б). При этом в верхней (прибыльной) части отливки отсутствует открытая усадочная раковина, а зона 90%-ной усадки более объемна и простирается на большую длину отливки. Дальнейшее увеличение толщины стенки кокиля до 175 мм приводит к такой же локализации усадочных дефектов, но область перемерзания открытой прибыльной части увеличивается (рис. 2, в). Сопоставление результатов моделирования характера формирования усадочных зон в отливке каландрового вала (см. рис. 2, а) с результатами производственного эксперимента, проведенного при такой же, как и для модели, толщине стенки кокиля 100 мм, дает основания считать их достаточно адекватными.

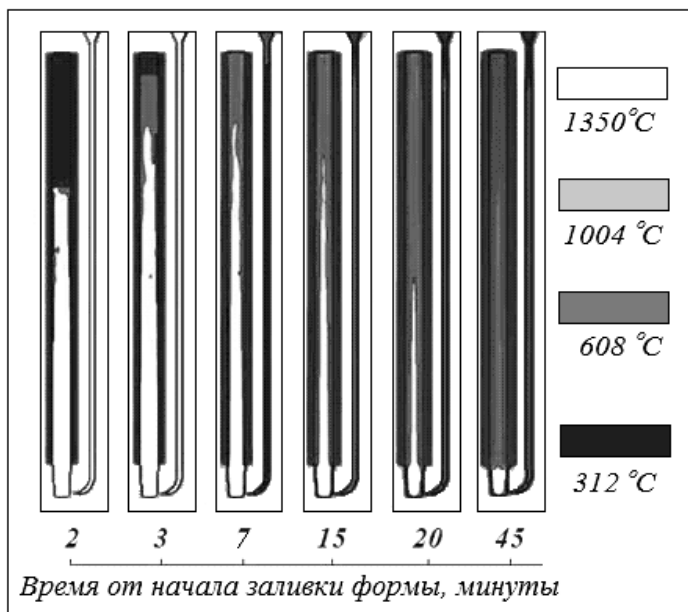


Рис. 1 – Расчетные поля температуры затвердевания и охлаждения отливки

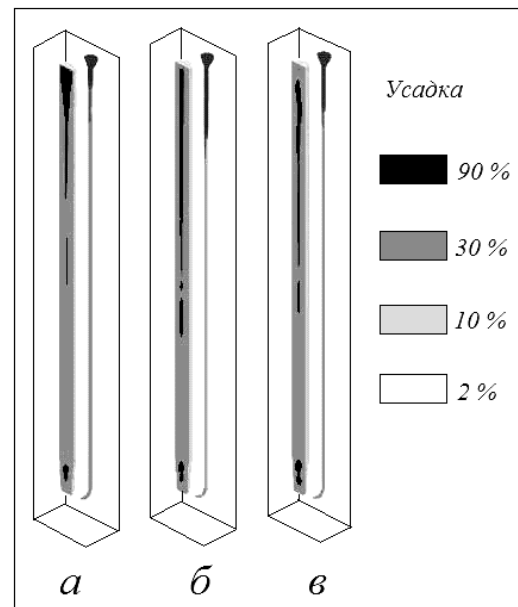


Рис. 2 – Расчетные поля размещения усадочных дефектов при затвердевании вала с толщиной стенки кокиля 100 мм (а), 145 мм (б) и 175 мм (в)

Таким образом, применение кокильной оснастки с толщиной стенки 100 мм является наиболее приемлемым технологическим решением.

Становский А.Л., Коряченко А.А., Щедров И.Н.  
(ОНПУ, м. Одеса)

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ СКРЫТЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для идентификации скрытых организационных нарушений технологии литейного производства в техпроцесс вводили дополнительный скрытый уровень, позволяющий, по мере его выполнения, накопить некоторое количество идентификационных признаков (рис. 1).

Идентификация *личности рабочего* заключается в том, чтобы незаметно заставить его выполнить действия, в зависимости от которых система получает набор индивидуальных числовых признаков. Приведем примеры.

**Действие первое.** Рабочему предоставляется возможность во время настраивания оборудования выполнить округление результата некоторого вычисления. Количество значащих цифр после запятой в результате такого округления – первый признак идентификатора.

**Действие второе.** В процессе работы рабочий произвольно выбирает нечетное число из любого диапазона, – например, {1, 19}. Значение этого числа – второй признак.

**Действие третье.** Рабочий на пульте (экране компьютера при современном автоматизированном производстве) произвольно выбирает одну клетку с заданным знаком из двумерного разноцветного массива (например, числом).

Причем, один и тот же знак встречается несколько раз, но в клетках разного цвета. Цвет выбранной клетки – третий признак.

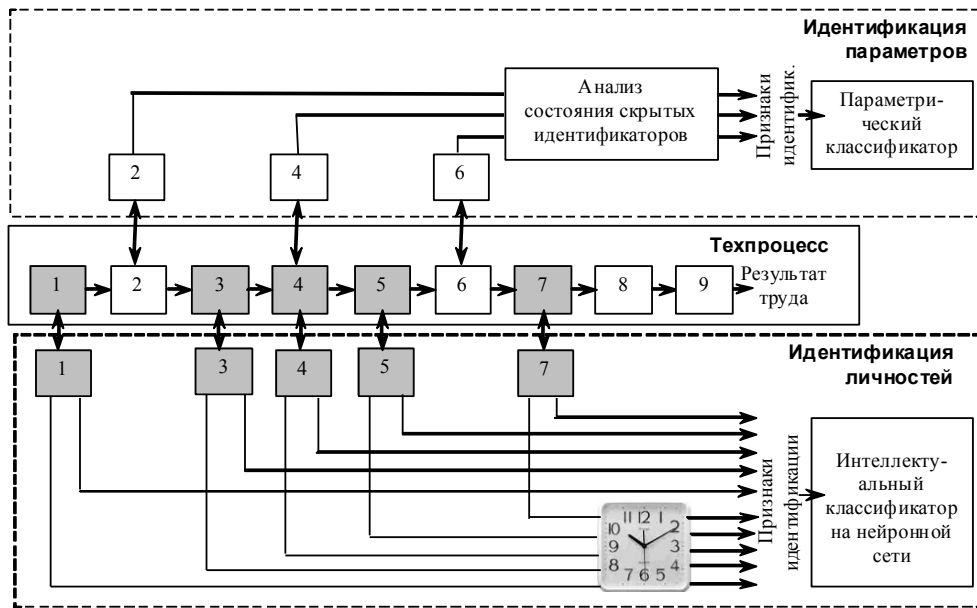


Рис. 1 – Пример реализации метода идентификации нарушений

**Действие четвертое.** Для выполнения операции (например, на участке формовки) подходят инструменты нескольких видов. Выбор конкретного инструмента – четвертый признак.

**Действие пятое.** По технологии необходимо воспользоваться некоторой добавкой в смесь. Вокруг емкости с несколькими сходными веществами, необходимая добавка наиболее отдалена от рабочего места. Выбор конкретной добавки – пятый признак. Параллельно с выполнением действий внутренние часы скрытой программы могут отсчитывать израсходованное на каждое из них время. Это дает значения еще пяти индивидуальных признаков.

Испытание системы идентификации на простом примере изготовления стальных отливок в песчано-смоляных формах в условиях действующего производства и техпроцесса с заведомо правильными характеристиками (т.е. такого, который при тщательном соблюдении режимов формообразования, плавки и литья давал заведомо положительные результаты по качеству поверхности отливок) показало следующие результаты. В первом случае отливки получались без дефектов, поэтому систему идентификации не запускали. Во втором – дефекты появились, и система идентификации выявила нарушение в области концентрации захлаживающей добавки. В третьем – дефекты вызваны превышением температуры формирования оболочковой формы, связанным с нарушениями в работе системы газового подогрева.

Проверки подтвердили выводы идентификатора и позволили устранить перечисленные нарушения.

**Ткаченко И.Ф., Розанов А.Р.**  
*(ГВУЗ «ПГТУ», м. Мариуполь)*

## **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНОЙ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ**

Большое распространение в машиностроении получают высокопрочные микрولةгированные стали, основной особенностью является комплексный характер их легирования для достижения наибольших показателей качества. Указанные стали обладают большим потенциалом с точки зрения высокой прочности и ударных характеристик при нагружении при высокой экономической эффективности производства. Опыт использования сталей показывает, что комплекс свойств характеризуется значительной нестабильностью, особо актуальной проблемой является применительно к сопротивлению ударным нагрузкам литых сталей. Таким образом, в свете современных тенденций экономического развития, все более актуальными становятся задачи повышения и стабилизации комплекса свойств литой металлопродукции. Среди наиболее важных аспектов этой проблемы следует выделить следующие: совершенствование существующих и использование новых методов анализа экспериментальных данных влияния параметров технологии производства на характеристики структуры и свойств; многоцелевая оптимизация существующих технологий производства и упрочнения литых деталей; разработка новых технологий литья и термического упрочнения, обеспечивающих повышение и стабилизацию качества литой металлопродукции. К настоящему времени в ПГТУ разработаны ряд методов, позволяющих решать задачи в каждом из назначенных направлений, а именно: методы компьютерного моделирования отдельного и совместного влияния параметров производства на свойства металлопродукции; новые комплексные технологии термической обработки обеспечивает повышение эффективности производства и качества крупногабаритной металлопродукции.

**Федорова Н.В.**

*(ДДМА, м. Краматорськ)*

## **АНАЛІЗ ЗАСТОСОВУВАНІХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

Одними з найпоширеніших методів визначення ціни на підприємстві є витратні методи, які включають розрахунок нормативної собівартості методом нормативних коефіцієнтів за даними запитального аркуша й визначення ціни методом «витрати плюс», та метод зворотного калькулювання.

Нормативний метод обліку витрат на виробництво застосовують для щоденного виявлення відхилень від діючих норм на виробництво з метою запобігання надмірних витрат засобів підприємства.

Важливим елементом нормативного методу обліку витрат на виробництво є складання нормативної калькуляції. Нормативна калькуляція складається

на підставі діючих на початку року норм витрат на конкретний вид продукції в розрізі елементів собівартості (статей витрат). Розрахунок представлений на прикладі виробництва валків.

Валки є головним елементом прокатної кліти, за допомогою якої здійснюється обтиснення смуги, що прокочується. Вимоги, пропоновані до прокатних валків, різноманітні й стосуються не тільки їхньої експлуатації, але й процесу виготовлення. Прокатний валок працює при одночасному впливі на нього зусилля прокатки, крутного моменту, температури в осередку деформації й т. п., тому однією з головних вимог є висока зносостійкість, що спричиняє мале й рівномірне зношування валків.

При розрахунку видно, що нормативна собівартість вище контрактної ціни й підприємство зазнає збитків при випуску валка в розмірі 3269,5 грн. Тому приймається рішення про застосування методу визначення собівартості методом зворотного калькулювання.

Метод зворотного калькулювання базується на принципах цільового калькулювання й припускає приведення ціни виробника до такого рівня, що був би прийнятний замовником.

Згідно даного методу, береться відсоток рентабельності й по формулі (1) визначається повна собівартість:

$$C = \frac{P}{1 + \frac{R}{100}} \quad (1)$$

де С – собівартість продукції;

Р – ціна продукції;

Р – відсоток рентабельності.

Потім відповідно до формули (2) визначають відсоток коректування статей калькуляції, розрахованих методом нормативних коефіцієнтів і зменшують всі статті калькуляції:

$$\%K = \frac{C_{O.K.} - ПМ}{C_{H.K.} - ПМ} * 100\%, \quad (2)$$

де  $C_{з.к.}$  і  $C_{н.к.}$  – собівартість методом зворотного й нормативного калькулювання відповідно;

ПМ – покупні матеріали;

%К – відсоток коректування.

Невелике відхилення відсотка коректування у виробничій і загальній собівартості пояснюється незмінною величиною покупних матеріалів, застосовуваних для виготовлення валків.

В наступний час проводиться робота з доцільності застосування інших методів визначення ціни на машинобудівному підприємстві.



**Филипенко Е.В.**

*(ГГТУ им. П.О.Сухого, м. Гомель, Беларусь)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА В УПРАВЛЕНИИ ЛИТЕЙНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

Для определения направлений повышения эффективности деятельности предприятия необходимо выявить факторы, которые оказывают значительное влияние на его деятельность. Для этого был проведен факторный анализ затрат на производство продукции. В качестве базового метода был использован метод стохастического факторного анализа (корреляционно-регрессионный анализ), который позволил установить причинно-следственные связи между факторами и величиной затрат на производство продукции. Необходимо отметить, что при стохастическом анализе в качестве факторов необходимо брать не те, которые входят в формулы расчета анализируемых показателей затрат, а факторы внешней среды.

Проведенные исследования позволили выдвинуть гипотезу о том, что величина затрат зависит от трех факторов: производительности труда работников, материалоотдачи и от амортизационных отчислений. Для подтверждения данной гипотезы, а также определения величины и направления влияния указанных факторов на величину затрат на производство продукции был использован регрессионный анализ, а для предварительного определения формы зависимостей между факторами и результативным показателем – корреляционный анализ.

Проанализировав значимость полученных коэффициентов корреляции по величине  $t$ -статистики при различных формах зависимости, был сделан вывод о предпочтительности степенной формы зависимости. Величина затрат на производство продукции связана обратной пропорциональной зависимостью с производительностью труда и материалоотдачей, а прямой зависимостью с размером амортизационных отчислений. Рассчитанные коэффициенты корреляции показали, что все факторы оказывают воздействие на уровень затрат, поскольку между производительностью труда и затратами на производство продукции наблюдается сильная связь, величина амортизационных отчислений находится в умеренной связи с результативным показателем, а материалоотдача – в слабой связи с затратами на производство.

Далее был проведен регрессионный анализ для степенной формы зависимости. Результаты регрессионного анализа влияния производительности труда, материалоотдачи, амортизационных отчислений на затраты производства позволили сделать следующие выводы: 1) нормированный коэффициент детерминации имеет сильное по величине значение, что говорит о сильной объясняющей силе построенного регрессионного уравнения. Значение  $R$ -квадрат показывает, что 99,82% вариации затрат на производство продукции объясняется влиянием данных факторов; 2) Значение  $F$ -статистики равно 564,1795, что выше критического значения (9,28). Это говорит о том, что значение  $R$ -квадрат является статистически значимым; 3) Значение  $t$ -статистики для производи-

тельности труда равно  $-12,2606$ , что больше критического значения, т. е. значение  $p$ -критерия меньше  $0,05$  ( $0,0012 < 0,05$ ). Это говорит о том, что данная переменная оказывает статистически значимое влияние на величину затрат. В свою очередь, значение  $t$ -статистики для других факторов – материалоотдачи и амортизационных отчислений ниже критического уровня, что свидетельствует о незначимости данных факторов с точки зрения влияния на величину резуль- тативного показателя; 4) Полученные коэффициенты при переменных позволяют сделать вывод, что рост производительности труда на  $1\%$  приводит к снижению затрат на  $-0,8148$  пунктов, материалоотдачи –  $0,1214$  пункта, амортизационных отчислений –  $0,1532$  соответственно.

Гипотеза о том, что затраты на производство продукции зависят от таких факторов как производительность труда, материалоемкость и амортизационные отчисления – верна. Для описания существующей зависимости между затратами на производство и ее факторами лучше использовать регрессионную зависимость степенной формы.

**Богушевський В.С., Шматко О.В.**

**(НТУУ «КПІ»)**

## **ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

При математичному моделюванні технологічний процес досліджується не на фізичній, а безпосередньо на математичній моделі, причому до явищ різної природи використовується загальний підхід. Не протиставляючи фізичне моделювання математичному, слід відмітити більш широкі можливості останнього, що дозволяють дослідити різні варіанти процесу й знайти найкращий режим його реалізації. При використанні ЕОМ математична модель може мати будь-яку складність.

Основний підхід при розробці математичної моделі складного технологічного процесу – декомпозиція об'єкта на окремі ланки (блоки), дослідження і формалізація їх окремо. Побудову математичної моделі, що включає описання зв'язків між параметрами й обмеження на коливання змінних, починають, коли відома ціль управління (цільова функція) – оптимізація продуктивності, собівартості, деякої складової якості тощо. Створення моделі включає такі операції: вибір виду моделі, способу її розробки, ідентифікацію моделі.

Джерелом вихідної інформації для математичного описання технологічного процесу є теоретичні, експериментальні й неформальні відомості про процес. У відповідності з цим виділяють теоретичну фізико-хімічну модель, що описується балансовими, термодинамічними і кінетичними рівняннями процесу, і формальну (що найчастіше використовується в АСКТП) модель, вид якої визначається способом розробки: детермінована (система функціональних залежностей); стохастична (система залежностей, що отримані в результаті експериментально-статистичних досліджень на основі регресійного і кореляцій-

ного багатомірного аналізу інформації; евристична (система емпіричних співвідношень, що формалізують дії технолога).

Детерміновані моделі, що побудовані з використанням теоретичного підходу, мають ряд суттєвих переваг: їх можна розробляти навіть при відсутності діючого об'єкта, як це часто буває при проектуванні; вони якісно більш правильно характеризують процеси, що проходять в об'єкті, навіть при недостатньо точних залежностях між параметрами моделі; придатні для узагальнень, що пов'язані з вивченням загальних властивостей об'єктів визначеного класу, і для прогнозування поведінки об'єкту.

Для описання випадкових явищ в об'єкті використовують методи теорії ймовірності, які дозволяють побудувати також адекватну математичну модель. Ідентифікація стохастичної моделі передбачає оцінку значимості коефіцієнтів рівняння, наприклад, за критерієм Стьюдента і перевірку її адекватності, наприклад, за критерієм Фішера.

Статична модель описує зв'язки між основними змінними в сталому (статичному) режимі, динамічна – при переході від одного сталого режиму до іншого. Найбільш повне уявлення про поведінку об'єкта дає динамічна модель. Але її використання призводить до складних обчислювальних задач, тому для об'єктів, інерційністю яких можна знехтувати у порівнянні з інтервалом часу вирішення задачі керування, або при порівняно малому спектрі збурень, обмежуються статичними моделями.

Ідентифікація моделі базується на використанні активного або пасивного експериментального методу. Активні експерименти потребують меншого часу для спостереження, ніж пасивні, і тому їх використовують у всіх випадках, за винятком таких, у яких: цілеспрямована зміна вихідних діянь неможлива за умов технологічного регламенту; не вдається протягом експерименту стабілізувати усі зовнішні діяння; присутній високий рівень шумів у спектрі вихідного сигналу, що не дозволяє виявити відгук на вхідне діяння.

Найбільш простими є лінійні моделі об'єкту, що використовують балансові зв'язки між параметрами. Точність цих моделей задовільна тільки для вузьких меж варіювання змінних, тобто при малих збуреннях.

## 4 РОЗДІЛ. РОБОТИ СЛУХАЧІВ МАН

Артем'єв В.В., Днестрянська А.В.

### ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ГІДРОФОБНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ З ТЕХНІЧНИМИ ЛІГНОСУЛЬФОНАТАМИ

За запропонованою раніше Бергом П.П. і Ляссом А.М. класифікацією, технічні лігносульфонати є водорозчинним зв'язувальним матеріалом з оборотним характером теплового затвердження, що обумовлює підвищену гігроскопічність сумішей з ними. Пізніше, в роботах Сидоренкової Л.А. був доведений взаємозв'язок режиму температурної обробки зв'язувального компонента з характером його затвердження.

Сидоренкова Л.А. припускає, що в процесі теплового затвердження ЛСТ можна виділити декілька стадій.

I – видалення вологи ( $t = 95 \dots 110 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Макромолекули ЛСТ малорухомі і неактивні. Процес зводиться до випаровування вологи, що обумовлює склоподібний стан ЛСТ.

II – лінійна конденсація ( $t = 140 \dots 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ). З підвищенням температури лігносульфонати переходять із склоподібного у високоеластичний стан. Збільшується рухливість і гнучкість макромолекул, починається переміщення їх сегментів. При подальшому підвищенні температури вже не сегменти, а макромолекули стають рухливими, при цьому ЛСТ переходять у в'язкотекучий стан.

III – тривимірна поліконденсація ( $t = 280 \dots 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Підвищена рухливість макромолекул робить доступними функціональні групи ЛСТ, що сприяє здійсненню тривимірного зшивання з утворенням жорсткої просторової сітки. Зшиті тривимірні лігносульфонати стають нерозчинними у воді і надають висушній суміші максимальну міцність.

Проте, при високотемпературній сушці виникають і свої проблеми: підвищення енерговитрат, необхідність точно витримувати технологію режиму сушки залежно від розважування стрижнів.

Для досягнення максимальної зв'язувальної здатності ЛСТ і пониження їх гігроскопічності нами застосовувалася хімічна активація добавками, які по-різному впливають на лігносульфонати, а саме, окисниками і комплексоутворювачами, щоб досягти безповоротного характеру затвердження ЛСТ при температурній обробці  $160 \dots 180 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Як модифікатор-окисник застосовувалася азотна кислота  $\text{HNO}_3$ . Для надання в'язко-пластичної суміші з ЛСТ одночасно високої міцності і гідрофобності оптимальним є вміст 15% кислоти при 60 хвилинах сушки зразків в печі. При додаванні азотної кислоти, ймовірно, відбувається заміна катіона  $\text{Na}^+$  в ЛСТ на  $\text{H}^+$  з утворенням лігносульфонової кислоти, що відрізняється високою здатністю до конденсації.

Як модифікатор-комплексоутворювач застосовувалося хлорне залізо  $\text{FeCl}_3$ . Дія комплексоутворювачів, за нашим припущенням, полягає в наступному: іони комплексоутворювача зшивають вільні групи ЛСТ, яких при температурі  $180\text{ }^\circ\text{C}$  виникає достатня кількість, в об'ємний полімер за рахунок місткових зв'язків, тому підвищується міцність і гідрофобність суміші.

Проаналізувавши вплив різних кількостей окисників і комплексоутворювачів на міцність і гідрофобність формувальних сумішей з ЛСТ, ми зробили висновок, що досягти високих значень одночасно для двох цих параметрів можна шляхом обробки лігносульфонатів комплексним модифікатором типу "окисник – комплексоутворювач". На нашу думку, при додаванні в лігносульфонат такого модифікатора спочатку повинен відбуватися процес окислення ЛСТ з утворенням пірокатехинових або хіноїдних структур і подальше їх зшивання, завдяки іонам комплексоутворювача, у тривимірний просторовий полімер, таким чином відбувається поліконденсація молекул з наданням композиції необхідної міцності.

Використовуючи спільне введення компонентів ( $\text{HNO}_3 + \text{ЛСТ} + \text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) у сипкі матеріали, ми отримали значно кращі результати по міцності і гідрофобності в порівнянні з роздільним введенням. Додавки такого комплексного модифікатора показали, що при різних співвідношеннях компонентів суміш має високу міцність (від 1,85 до 2,0 МПа) і добру гідрофобність при 30 хвилинах сушки зразків.

**Завертайло М.В.**

*(Спеціалізована школа №317)*

## **ПОВЕРХНЕВЕ ЛЕГУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ІЗ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Одним із напрямків розвитку машинобудування на сучасному етапі є збільшення довговічності служіння машин і механізмів, особливо в складних умовах експлуатації.

Підвищення довговічності і експлуатаційної надійності деталей може досягатися керуванням процесу структуроутворення поверхневого шару, оскільки зношення та пошкодження литих деталей починається, переважно, з поверхні.

Існуючі методи, що направлені на підвищення стійкості зношуваних поверхонь деталей, не завжди дозволяють вирішити цю проблему економічно і технологічно шляхом використання таких технологій для виготовлення широкого кола машинобудівних деталей, які працюють в умовах високих зносу або температур. Литі деталі устаткування, яке використовується в теплоенергетиці, гірничодобувній промисловості, металургії та інших галузях, виготовляються із спеціальних сплавів, що вмістять в своєму складі значну кількість таких дорогих і дефіцитних елементів як хром, нікель, вольфрам, молібден, титан, мідь, марганець та ін.

Більшість деталей виготовляють з використанням із литих заготовок, тобто виливків, довговічність яких в значній мірі визначає надійність машини і її продуктивність. Для високої поверхневої міцності і зносостійкості литих деталей в машинобудуванні використовують різні види термохімічного оброблення, електрохімічні покриття і спеціальні наплавки.

Умови експлуатації таких деталей показують, що технологія їх виготовлення з використанням об'ємного легування сплавів не завжди себе виправдовує, а інколи шкідлива, оскільки лише невелика товщина деталей зношується, окислюється або пошкоджується. В таких випадках достатньо було б забезпечити високі експлуатаційні характеристики тільки робочих поверхонь литої деталі. Для досягнення цієї мети перспективними можуть бути способи виробництва виливків із нелегованих сплавів на основі заліза з поверхневим композиційним або легованим шаром, який утворюється під час формування заготовки в ливарній формі.

Одним із таких способів підвищення зносостійкості литих деталей є поверхнєве легування виливків або окремих їх частин безпосередньо в ливарній формі. Процес легування здійснюють шляхом нанесення на поверхні ливарних форм паст, фарб, облицьовувальних сумішей або вставок, наповнювачами яких є легувальні компоненти. Під час взаємодії з металом, що заливається у форму, вони утворюють легований поверхневий шар із спеціальними властивостями.