

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**ФЕСЕНКО МАКСИМ АНАТОЛІЙОВИЧ**

**УДК 621.74.042:669**

**ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАСТИН ВИЛИВКА  
МОДИФІКУВАННЯ ЧАВУНУ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ**

**Спеціальність 05.16.04 – Ливарне виробництво**

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Київ – 2007**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі ливарного виробництва чорних і кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Косячков Вячеслав Олександрович**,  
Національний технічний університет  
«Київський політехнічний інститут»,  
доцент кафедри «Ливарного виробництва чорних  
та кольорових металів», м. Київ

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук  
**Бубликов Валентин Борисович**  
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів,  
завідувач відділом високоміцних і спеціальних чавунів

доктор технічних наук, професор  
**Іванова Ліна Олександрівна**  
**Одеський національний політехнічний університет**,  
завідувач кафедри машин і технології ливарного  
виробництва

Захист відбудеться «10» квітня 2007 р. 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.002.12 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, м.Київ, просп. Перемоги, 37, корп.№9, ауд. 203.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Автореферат розісланий «5» березня 2007р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К26.002.12  
кандидат технічних наук, доцент

Л.М.Сиропоршнев

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** До робочих частин багатьох литих деталей сучасних машин і механізмів висувають часто різні, іноді протилежні за функціональним призначенням вимоги щодо механічних і експлуатаційних властивостей. Валки і опорні ролики прокатних станів, щоки дробарок, бронефутеровальні плити кульових млинів, кидальні лопатки дробометних і пісcomedних апаратів, пересипки бункерів сипких матеріалів, зуби екскаваторів, ножі розпушувачів та землечерпалок, шестерні, канатотягові шківни тощо повинні мати тверду зносостійку поверхню робочих елементів і ударостійку пластичну матричну підкладку, або серцевину. Високу зносостійкість робочої поверхні таких литих деталей може забезпечити вибілений чавун з твердими карбідами заліза в мікроструктурі, а підвищену пластичність та ударну в'язкість підкладки або серцевини – високоміцний феритний чавун з кулястим графітом.

Більшість існуючих технологічних варіантів виробництва двошарових чавунних виливків базуються на виплавленні різнорідних сплавів в окремих плавильних агрегатах з наступним їх заливанням у ливарні форми, в певній послідовності.

Відомо, що мікроструктуру і властивості сірого або білого чавунів можна суттєво змінити сфероїдизувальним, графітизувальним або карбідостабілізувальним модифікуванням необхідного об'єму базового металу, виплавленого в одному плавильному агрегаті. Але відомості щодо особливостей подібних технологічних процесів виробництва двошарових виливків у технічній літературі вкрай обмежені.

Ідея запропонованого в дисертаційній роботі нового методу диференціації властивостей окремих частин вилівка полягає в розділенні вихідного сірого або білого чавуну на два потоки під час заливання ливарної форми, один з яких прямує безпосередньо в її порожнину, а інший – спочатку піддається графітизувальному, сфероїдизувальному або карбідостабілізувальному модифікуванню в реакційній камері ливникової системи, а потім попадає в іншу частину порожнини форми. Можливе також модифікування обох потоків вихідного чавуну в двох реакційних камерах різними за функціональним призначенням модифікаторами.

Інформаційна новизна методу диференціації властивостей частин вилівка модифікуванням чавуну в ливарній формі дає підставу вважати тему дисертаційної роботи, в якій розглянуті питання щодо встановлення особливостей і закономірностей такого технологічного процесу виробництва двошарових чавунних виливків, **актуальною** як з наукової, так і з практичної точок зору.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота є складовою з д/б НДР кафедри ливарного виробництва чорних і кольорових металів НТУУ "КП" № 2658 "Теоретичні і технологічні основи диференціації властивостей вилівка методами композиційного лиття" (накази МОН України №663 від 05.11.2002 р. та НТУУ "КП" від 20.01.2003 р. № 2-12, номер держреєстрації 0103U000223) та № 2903 ф "Теоретичні і технологічні принципи керування структуроутворенням модифікованих та мікролегованих

сплавів у виливках" (накази МОН України від 16.11.2005 р. №654 та НТУУ „КПІ” №2-209 від 30.12.2005 р. номер держреєстрації 0106U002362).

**Мета дослідження.** Розроблення технологічного процесу диференційованого модифікування рідкого чавуну в реакційних камерах ливникової системи ливарної форми для виробництва виливків з твердим зносостійким поверхневим робочим шаром і в'язкою ударостійкою підкладкою або серцевиною.

**Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі наукові та практичні задачі:**

1. Змоделювати перспективні конструктивно-технологічні варіанти диференціації властивостей частин виливка роздільним модифікуванням чавуну в ливарній формі.

2. Оптимізувати хімічний і гранулометричний склад сфероїдизувального, графітизувального та карбідостабілізувального зарядів реакційної камери для різного за функціональним призначенням модифікування сірого або білого чавуну в ливарній формі.

3. Виконати комп'ютерне та фізичне моделювання процесів модифікування розплавів з використанням прозорих моделей та здійснити виконання експериментальні лабораторні плавки для перевірення можливостей реалізації і визначення перспективних конструктивно-технологічних варіантів диференціації властивостей частин виливка модифікуванням чавуну в ливарній формі, а також встановити практичну цінність кожного з прогнозованих варіантів.

4. Розробити та випробувати у промислових умовах технологічний процес виробництва двошарових і двобічних виливків із твердого зносостійкого і пластичного ударостійкого чавунів диференційованим модифікуванням у ливарній формі вихідних сірого або білого чавунів.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес виробництва двошарових та двобічних литих деталей з твердого зносостійкого чавуну в одній частині перерізу стінки виливка і пластичного ударостійкого чавуну - в іншій.

**Предмет дослідження.** Процес диференційованого модифікування потоку рідкого металу у реакційних камерах ливникової системи різномірними за функціональним призначенням модифікаторами з наступною кристалізацією у окремих частинах виливка різномірних за хімічним складом, мікроструктурою, механічними та спеціальними властивостями чавунів.

**Методи дослідження.** Мета і поставлені в роботі задачі обумовили проведення комплексних теоретичних і експериментальних досліджень з використанням фізичного моделювання процесу взаємодії твердої і рідкої фазичинення модифікаторів у реакційній камері ливникової системи ливарної форми, математичного комп'ютерного моделювання гідродинамічних і масообмінних процесів, що відбуваються під час виготовлення двошарових виливків, з використанням пакету LVMFlow, а також серії лабораторних плавок з математичним плануванням та обробленням результатів експерименту з переважно стандартизованими методами оцінки хімічного складу, мікроструктури і механічних властивостей металу. Стандартизовані методи з обмеженими похибками достовірності і відтвореності результатів дали підставу для використання отриманих експериментальних

даних для практичного розроблення і апробації в промислових умовах технологічного процесу виробництва двошарових та двобічних чавунних виливків.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Вперше запропоновано і теоретично обґрунтовано процес диференційованого модифікування однорідного сплаву у реакційних камерах ливарній форми різнорідними за функціональним призначенням модифікаторами. Тим самим закладені наукові основи розроблення нового способу виробництва двошарових або двобічних виливків з твердого та м'якого чавунів.

2. Дістало подальший розвиток уявлення про перевагу пошарового механізму взаємодії твердої і рідкої фаз у реакційній камері ливникової системи, в порівнянні з поверхневим або об'ємним механізмами.

3. Висока швидкість перерозподілу кремнію між різнорідними чавунами модифікованими у ливарній формі, свідчить на користь гіпотези про флуктуаційний механізм і кінетику графітизуючого модифікування чавуну, всупереч інокуляційної гіпотези.

4. Кристалізація чавуну, модифікованого в ливарній формі нікель-магнієвим сплавом без графітизуючого кремнію за стабільною системою додатково свідчить на користь гіпотези про можливість прямої кристалізації графіту з евтектичної рідини без проміжної кристалізації і наступного "самовідпалу" цементиту ледебурита, а також підтверджує теоретичне положення про переважаючий вплив вуглецю на процес графітизації чавуну, в порівнянні з кремнієм.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Розроблено новий спосіб виробництва двошарових та двобічних виливків з твердого та м'якого чавунів диференційованим модифікуванням рідкого сплаву у реакційних камерах ливарної форми вихідного сірого або білого чавунів.

2. Оптимізовані склади зарядів реакційних камер ливникових систем для диференційованого графітизувального, карбідостабілізувального та сфероїдизувального модифікування чавуну у ливарній формі.

3. Випробовані вісім нових конструктивно-технологічних варіантів виробництва двошарових та двобічних виливків диференційованим модифікуванням однорідного рідкого чавуну у ливарній формі. Встановлено вплив основних технологічних параметрів процесу на показники якості виливків. Визначені переваги і недоліки методу.

5. Технологічний процес виробництва двошарових виливків з твердою зносостійкою робочою поверхнею з вибіленого чавуну та м'якою в'язкою ударостійкою матрицею з високоміцного чавуну з кулястим графітом пройшов успішні випробування на дослідно-промислових партіях виливків "Силова тяга" і "Плита бронефутеровальна" (Краматорське ТОВ "Лінгвей"), "Плита" і "Ніж" (АТ "Старокраматорський машинобудівний завод"). Планова собівартість виробництва двошарових чавунних виливків за новою технологією у 1,7 рази нижче собівартості виробництва монолітних виливків із зносостійкої сталі 110Г13Л.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Здобувачем складено огляд літератури за темою дисертаційної роботи, зроблені

відповідні висновки і сформульовані основні задачі дослідження. Розроблена матриця планування експерименту. Автором вдосконалені методи і методики дослідження та оброблення результатів експериментів. Автором проведено математичне, фізичне і натурне моделювання процесу диференційованого модифікування чавуну у ливарній формі. Послідовним виконанням серії експериментальних і промислових плавок автором визначені особливості найбільш перспективних конструктивно-технологічних варіантів нового способу виробництва двошарових і двобічних чавунних виливків.

Планування експериментів і обговорення їх результатів, формулювання та осмислення висновків і рекомендацій за темою роботи проведено здобувачем спільно з науковим керівником та зі співавторами публікацій.

Автор щиро вдячний співробітникам та студентам-дипломникам кафедри ливарного виробництва НТУУ "КПІ" за допомогу у виконанні експериментальної частини дисертації.

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові положення дисертації доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях "Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку", Краматорськ, ДДМА, 9-11.06.2004, 11-12.06.2005, 8-10.05.2006; міжнародних науково-технічних конгресах "Ливарне виробництво: високоякісні виливки на основі ефективних технологій", Київ, 2-4.06.2004; 6-7.06.2006; міжнародній спеціалізованій конференції-виставці "Лиття. Металообробка. 2005", Запоріжжя, 16-18.03.2005; міжнародному науково технічному конгресі "Економічний шлях до високоякісного литва", Запоріжжя, 4-6.06.2005; II міжнародній конференції-виставці "Лиття 2006", Запоріжжя, 15-16.03.2006; II міжнародній науково-практичній конференції "Наукові дослідження – теорія та експеримент 2006", Полтава, 15-17.05.2006; науково-технічній конференції молодих спеціалістів "Азовмаш 2006", Маріуполь, 9-11.06.2006.

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані у 8 наукових статтях періодичних журналів та збірників, затверджених ВАК України як фахові видання. За матеріалами дисертації одержано 3 патенти України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація викладена на ... аркушах, містить ... таблиць, ... рисунків, ... сторінок основного тексту; складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел із ... найменувань і ... додатків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**Вступ.** У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі дослідження, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, визначена наукова новизна та практична цінність роботи, відзначений особистий внесок здобувача у її виконанні, наведені дані про публікації та апробацію результатів роботи.

**У першому розділі** проаналізований сучасний стан теорії та технології виробництва двошарових та двобічних чавунних виливків з диференційованими властивостями окремих частин перерізу їх стінок. Наведена номенклатура двошарових і двобічних виливків та основні вимоги до їх матеріалу, залежно від умов експлуатації. Проаналізовані переваги і

недоліки основних методів виробництва двошарових та двобічних чавунних виливків. Розглянуті теоретичні і технологічні особливості отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом, як одного з найбільш перспективних ударостійких матеріалів для виготовлення виливків в парі із зносостійким білим чавуном. Проведений аналіз сучасних способів модифікування чавуну та складу модифікаторів, які при цьому використовуються. Показано, що спосіб модифікування чавуну безпосередньо в реакційній камері ливарної форми має комплекс переваг в порівнянні з ковшовими методами модифікування. Розглянуті типи модифікаторів, які при цьому використовуються. Визначені основні фактори, які лімітують процес розчинення модифікатора в реакційній камері ливникової системи під час заливання ливарної форми. Відзначені недоліки методу, серед яких можливість нерівномірного розчинення модифікатора у потоці чавуну і відповідна неоднорідність структури і властивостей сплаву у окремих частинах перерізу стінок вилівка.

На підставі відомого евристичного принципу перетворення шкоди на користь сформульована основна мета дослідження: розроблення технології виробництва двошарових або двобічних виливків диференційованим сфероїдизуючим, карбідостабілізуючим або графітізуючим модифікуванням у ливарній формі частини вихідного сірого або білого чавуну.

Запропонований спосіб виробництва виливків з різномірних чавунів у окремих частинах перерізу стінок має абсолютну світову інформаційну новизну і визнаний винаходом.

**У другому розділі** проведено моделювання різноманітних конструктивно-технологічних варіантів диференційованого модифікування чавуну у ливарній формі. З усіх вірогідно можливих змодельованих варіантів для дослідження обрано вісім найбільш перспективних (рис. 1).

Розроблена матриця планування експерименту, а також послідовність її реалізації шляхом математичного і фізичного моделювання та виконання серії дослідно-лабораторних плавок. Спроектвані математичні, фізичні та натурні моделі об'єкту дослідження. Обрані вхідні фактори, які потенційно впливають на диференціацію структури і властивостей чавуну, модифікованого у ливарній формі. Як вихідні параметри оптимізації процесу визначені колір зламу, мікроструктура, хімічний склад і твердість чавуну у окремих частинах перерізу стінок вилівка. Злами виливків фотографували цифровою фотокамерою. Мікроструктуру чавуну досліджували на оптичному мікроскопі ММР-4 та фотографували цифровою камерою Sony DCS-W5 з записом на ПЕОМ. Ідентифікацію структурних складових проводили згідно ГОСТ 2443-87. Вуглецевий еквівалент вихідного рідкого чавуну визначали термографічним експрес-контролем. Вміст вуглецю визначали газо об'ємним методом, кремнію – ваговим солянокислотним, марганцю – об'ємним пер сульфатно-срібним, фосфору – фото калориметричним, сірки – об'ємним, магнію – спектральним за методом трьох еталонів. Твердість за Брінелем визначали згідно ГОСТ 9012-59.

Описані матеріали, використані для проведення досліджень.

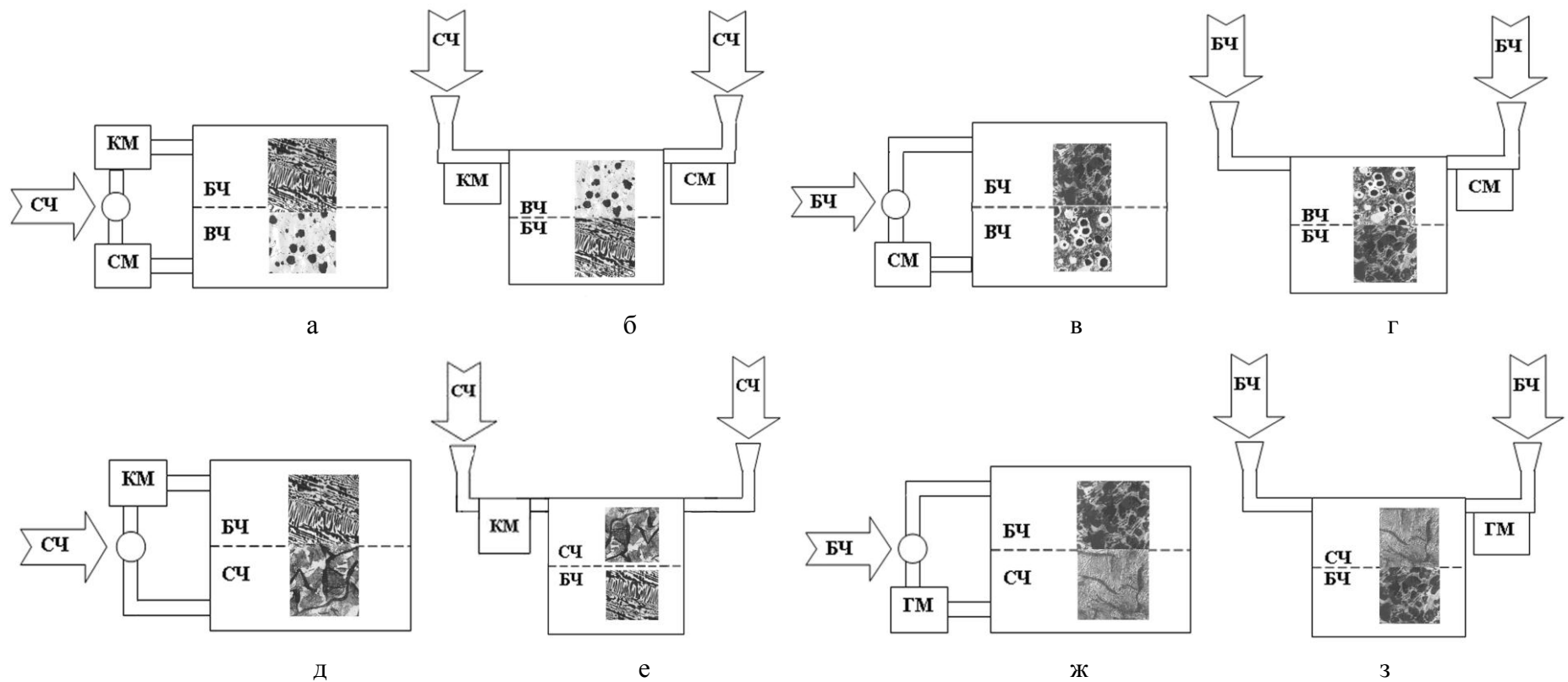


Рис. 1 – Схеми перспективних конструктивно-технологічних варіантів диференціації властивостей сплаву у окремих частинах перерізу стінок виливка модифікування у ливарній формі вихідного рідкого схильного до графітизації (СЧ) або схильного до вибілення (БЧ) чавунів карбідостабілізуючим (КМ), графітизуючим (ГМ) або сфероїдизуючим (СМ) модифікаторами для виробництва виливків типу двобічної плити (а, в, д, ж) або двшарового бруску (б, г, е, з) з біметалевої пари "білий чавун – високоміцний чавун" (а...г) або "білий чавун – сірий чавун" (д...з)



Для вивчення гідродинамічних процесів взаємодії двох зустрічних потоків різнорідних чавунів у ливарній формі застосоване математичне моделювання з використанням пакету прикладних програм LVMFlow. Математична обробка результатів експериментальних досліджень, оцінка достовірності одержаних результатів і закономірностей і побудова графічних залежностей здійснювалась на ПЕОМ з використанням пакетів прикладних програм Excel, Grapher.

У третьому розділі викладені результати оптимізації хімічного складу вихідних чавунів перед їх диференційованим модифікуванням у ливарній формі. Встановлено, що для гарантованої кристалізації за метастабільною системою у перерізах стінок до 50 мм вміст вуглецю у вихідному чавуні необхідно обмежувати 2,6...3,0%, а вміст кремнію 0,4...0,5%. При цьому твердість немодифікованого вихідного чавуну у відповідних частинах вилівка може перевищувати 400 НВ. Як другий варіант вихідного сплаву обрано м'який чавун евтектичного складу, схильний до графітизації у литому стані, з вмістом вуглецю 3,9...4,1%С і кремнію 0,6...0,9%Si.

Фізичним моделюванням на прозорих моделях проведені дослідження процесу взаємодії твердої і рідкої фаз в реакційній камері та у робочій порожнині ливарної форми під час її заливання. Дістало подальший розвиток уявлення про більш інтенсивну гідродинамічну взаємодію потоку рідкого металу у ливниковій системі форми з гранульованим зарядом реакційних камер за пошаровим механізмом, в порівнянні з його взаємодією з дрібнодисперсним зарядом за поверхневим механізмом або з куськовим зарядом за об'ємним механізмом (рис.2).

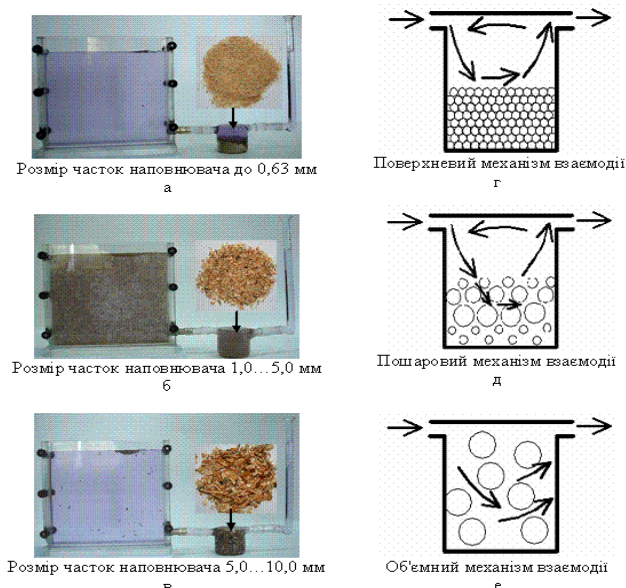


Рис. 2 – Фізичне моделювання у прозорій реакційній камері і порожнині форми взаємодії рідкої і твердої фаз (а, б, в) та схематичний механізм взаємодії часток заряду камери різного гранулометричного складу з потоком рідини (в, г, д)

Результати фізичного моделювання виявилися адекватними результатам лабораторно-дослідних плавок з використанням зведеної тріступінчастої проби (рис. 3, а).

Встановлено, що при модифікуванні в ливарній формі доєвтектичного чавуну, схильного до кристалізації з вибіленням, найбільш ефективним графітизуючим модифікатором є знепилений феросиліцій ФС75 з розміром гранул  $7,5 \pm 2,5$  мм. Гранули такого розміру без дрібних і пилоподібних частинок забезпечують фільтрацію рідкого металу в проміжках між зернами модифікатора на певну глибину заряду реакційної камери. Інтенсивний теплообмін між твердою фазою з кімнатною температурою і рідкою фазою, з температурою заливання  $1440 \pm 20^\circ\text{C}$ , достатньо велика сумарна площа реакційної поверхні і синхронізація швидкості заливки форми із швидкістю просування в камері двофазного твердо-рідкого реакційного шару зверху вниз забезпечують в комплексі відносно рівномірне пошарове розчинення зерен феросиліцію в потоці чавуну.

Результати внутрішньоформового модифікування чавуну крупнокусковим феросиліцієм за об'ємним механізмом не відрізняються стабільністю. Дрібнодисперсний феросиліцій пилоподібної фракції взагалі не реагує з рідким чавуном за поверхневим механізмом взаємодії. Поза головної мети дослідження розроблено декілька нових способів інтенсифікації процесу розчинення дрібнодисперсних модифікаторів в потоці рідкого металу, зокрема додатком у заряд камери компоненту з відносно низькою температурою кипіння: 1..2% порошкового магнію або 1...2% пінополістиролу. Але як базовий графітизуючий модифікатор у подальших дослідженнях використовували феросиліцій ФС75 у гранулах  $7,5 \pm 2,5$  мм.

Для сфероїдируючого модифікування сірого та білого чавунів в ливарній формі найбільш ефективним виявився знепилений феросиліцій-магнієвий модифікатор марки ФСМг7 з розміром частинок  $5,0 \pm 2,5$  мм. Фактор розчинності сплаву  $\text{ФРС} = 5 \text{ кг} / 12 \text{ с}^x \cdot 16 \text{ см}^2 = 0,026 \text{ кг} / \text{с}^x \cdot \text{см}^2$  за оптимальною температурою заливання  $1440 \pm 20^\circ\text{C}$  забезпечує майже повне пошарове розчинення заряду реакційної камери в потоці чавуну за час заливання форм. Незважаючи на це залишковий вміст магнію у модифікованому чавуні здебільшого знаходиться на нижньому припустимому рівні  $0,03 \dots 0,04\% \text{Mg}$ , що виявилось цілком достатньо для сфероїдизації графіту у всіх перерізах стінок виливків.

Як карбідостабілізуючий модифікатор евтектичного чавуну, схильного до графітизації, випробували ферохром ФХ200, механічну суміш порошкового магнію МгПф1 з нейтральним до графітизації наповнювачем у вигляді дрібнодисперсного феромарганцю ФМн78 та сплав нікелю з 15% магнію марки НМг15.

За всіма технологічно можливими умовами заливання, включаючи інтенсифікацію процесу додатком до складу заряду плавиковошпатового флюсу ФФС95 або порошкового

магнію MgПф1, гранульований ферохром ФХ200 після заливання форм залишається у реакційній камері у похідному стані. Підвищена температура плавлення ( $2265^{\circ}\text{C}$ ), а також хіміко-термічна стійкість захисної окисної плівки  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  на поверхні зерен перешкоджає розчиненню ферохрому у потоці рідкого чавуну.

Результати внутрішньоформового карбідостабілізуючого модифікування чавуну механічною сумішшю феромарганцю з різною концентрацією порошкового магнію не відрізняються стабільністю, а процес заливання форм – безпечністю. За високою концентрацією магнію у складі суміші під час заливання відбуваються зворотні виплески рідкого чавуну з ливникової системи та за роз'ємом форми під тиском його парів.

Найбільш ефективним карбідостабілізуючим модифікатором виявився сплав нікелю з 15% магнію НМг15. Незалежно від розміру зерен в діапазоні від пилоподібної фракції до 10,0 мм, сплав нікелю з магнієм достатньо повно розчиняється в потоці чавуну за час заливання форми. Низька здатність нікелю до утворення окисних плівок на поверхні частинок, відносно невисока температура плавлення ( $1140^{\circ}\text{C}$ ) і барботація потоку чавуну в реакційній камері парами магнію, сприяють процесу розчинення цього сплаву у потоці рідкого металу. На відміну від феросиліцій-магнієвого модифікатора ФСМг7, залишковий вміст магнію у чавуні, модифікованому сплавом НМг7, здебільшого перевищує 0,08%. Однак і за таким збитковим вмістом модифікований чавун кристалізувався за стабільною системою з вибіленням переважно у тонких 8-мм перерізах проби. У 32-мм перерізах поряд карбідами заліза кристалізується кулястий графіт, що знижує твердість чавуну до 340...360 НВ, а у масивних 64-мм перерізах проби чавун з кулястим графітом взагалі кристалізується за стабільною системою без вибілення.

**В четвертому розділі** наведені результати дослідження процесу диференційованого карбідостабілізуючого і сфероїдизуючого модифікування у ливарній формі вихідного сірого чавуну евтектичного складу, схильного до графітизації, для виробництва двобічних і двошарових виливків.

Об'єктами дослідження обрали виливки двох типів: двобічну плоску плиту розміром  $25(10)\times 200\times 220$  мм з  $\Lambda$ -подібним перегином у поперечному перерізі, який попереджав передчасне взаємне перемішування різнорідних чавунів у порожнині ливарної форми (рис. 3, б) та двошаровий брусок розміром  $50\times 240\times 120$  мм (рис. 3, в). Маса чавуну у виливках складала  $10,0\pm 0,5$  кг, а разом з ливниково-живільною системою – 12...16 кг

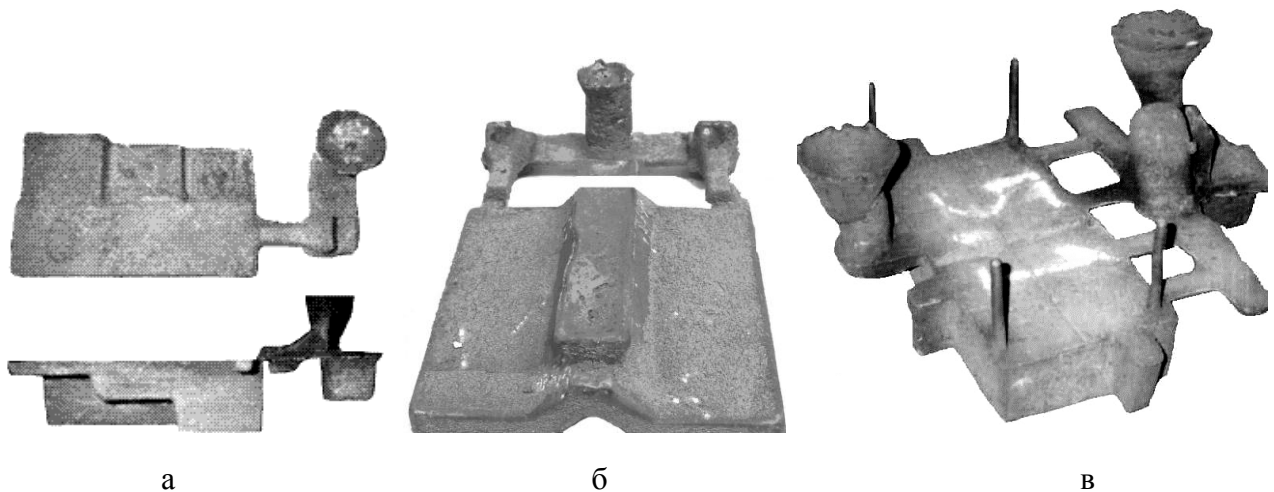


Рис. 3 – Експериментальні виливки здвоєної триступінчасої проби (а,) двобічної плити з  $\Lambda$ - подібним перегином (б) та двошарового бруску (в) з ливниковими системами і реакційними камерами

Підведення металу у ліву і праву частину порожнини форми плити за площиною роз'єму проводили від загального стояку крізь симетричну ливникову систему, що розходились, з однією або двома кубічними реакційними камерами з ребром 40 мм. Підведення металу у порожнину форми бруску проводили крізь дві незалежні ливникові системи одна або обидві з яких включали кубічну реакційну камеру з ребром 40 мм для модифікатора.

Форми протягом  $12 \pm 2$  сек. заливали чавуном евтектичного складу, вуглецевий еквівалент якого у діапазоні 4,2...4,4% контролювали і стабілізували за допомогою термографічного експрес-контроля додатком у тигель сталевого лому. В серії лабораторних плавок у кислій індукційній печі ICT-006 хімічний склад вихідного чавуну коливався у межах 3,9...4,1%С; 0,6...0,9%Si; 0,4...0,4%Mn; 0,03...0,04%P; 0,02...0,03%S. Колір зламу у контрольних 25-мм плитах з вихідного чавуну всіх плавок був сірим.

Встановили, що карбідостабілізуюче модифікування сірого чавуну у одній боковині ливарної форми сплавом НМг15 і сфероїдизуюче модифікування сплавом ФСМг7 у іншій боковині (див. рис. 1, а) призводить до диференціації структури і двократній різниці твердості різнорідних чавунів лише у плиті з перерізом стінки 10 мм (рис. 4, а).

Колір зламу, мікроструктура і твердість лівої і правої боковин вилівка 25-мм плити з чавуну, роздільно модифікованого у ливарній формі різнорідними за функціональним призначенням сплавами, незалежно від температури заливання в діапазоні 1350...1550°C, практично ідентичні. В обох боковинах вилівка графіт має майже ідеальну кулясту форму, металева матриця на 85...95% складається з перліту. Твердість чавуну, модифікованого сфероїдизуючим і карбідостабілізуючим сплавом НМг15 лише на 10...15 НВ перевищує

твердість чавуну, модифікованого сфероїдизуючим і графітизуючим сплавом ФСМг7 Але в усіх ділянках перерізу плити первинні карбіди заліза ледебуриту відсутні (див. рис. 4,б).

Відомо, що без додаткового модифікування графітизуючим феросиліцієм чавун, модифікований тільки металевим магнієм або нікель-магнієвим сплавом, завжди кристалізується з вибіленням.

Припустили, що графітизація чавуну, модифікованого у ливарній формі сплавом НМг15, відбулась за рахунок дифузії кремнію з чавуну, модифікованого висококремнієвим сплавом ФСМг7, з правої боковини плити у ліву крізь 25-мм  $\Lambda$ -подібний перегин за час їх взаємного торцевого контакту у рідкому і рідко-твердому стані. Для перевірки цього припущення площу взаємного торцевого контакту чавунів у  $\Lambda$ -подібному перегині формуванням за шаблоном штучно зменшували від 50 см<sup>2</sup> до 0. Однак і в цьому випадку, навіть за відсутністю торцевого контакту, структура і твердість чавуну з кулястим графітом у обох боковинах вилівка плити перерізом 25 мм практично не відрізняються.

Повна графітизація магнієвого чавуну, модифікованого в ливарній формі без графітизуючого кремнію, при мінімальному інтервалі часу між додатком магнію і початком кристалізації сплаву додатково свідчить на користь гіпотези про можливість прямої кристалізації графіту з евтектичної рідини без проміжної кристалізації і наступного "самовідпалу" цементиту ледебурита.

Кристалізація немодифікованого кремнієм чавуну евтектичного складу за стабільною системою після модифікування магнієм одночасно підтверджує теоретичні і практичні положення про переважаючий вплив вуглецю на процес графітизації чавуну, в порівнянні з кремнієм. Висока схильність до графітизації можливо пов'язана із специфікою внутрішньоформового методу модифікування, за якою інтервал часу між додатком елементів-модифікаторів у вихідний сплав і початком його кристалізації мінімальний.

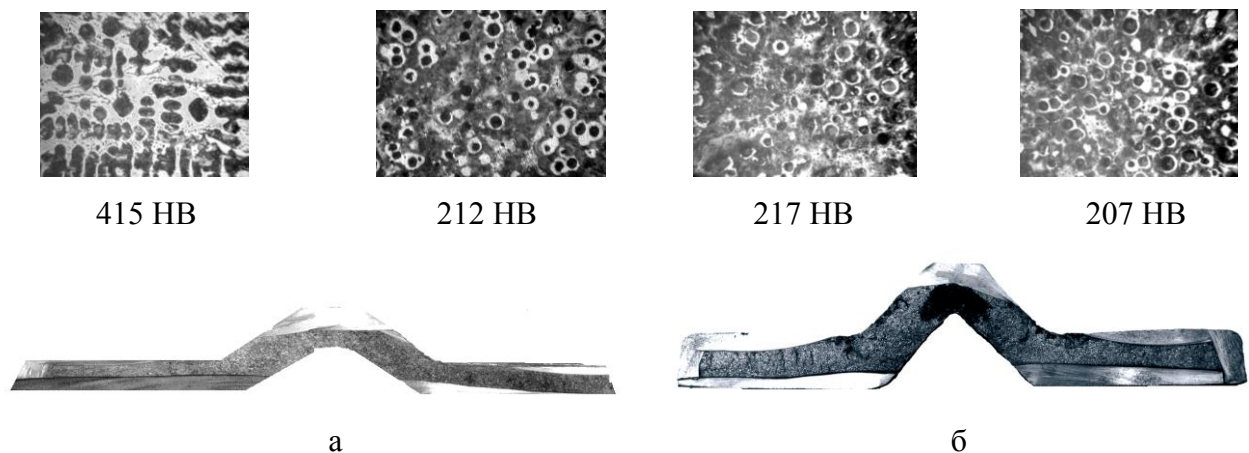


Рис. 4 – Мікроструктура, твердість і колір зламу перерізу 10-мм (а) та 25-мм (б) двобічної плити з вихідного сірого чавуну, права боковина якої модифікована

сфероїдируючим сплавом ФСМг7, а ліва – карбідостабілізуючим сплавом НМг15

Аналогічні результати спостерігали після карбідостабілізуючого модифікування у реакційній камері частини потоку сплавом НМг7, коли інша частина потоку вихідного сірого чавуну прямувала у порожнину форми без модифікування (див. рис. 1, д). Сполучення пари сірого і білого чавунів з різницею твердості між боковинами 140...160 НВ отримали лише у плитах перерізом 10 мм. У 25-мм плитах кристалізується безперспективна для експлуатації в умовах абразивного зносу пара сірого і високоміцного чавуну однаково низької твердості 201...217 НВ. Така сама безперспективна пара у 10-мм та 25-мм плитах кристалізується і в разі заміни карбідостабілізуючого сплаву НМг15 в реакційній камері сфероїдируючим модифікатором ФСМг7.

Комп'ютерним моделюванням гідродинамічних спрогнозували, що симетрична диференціація структури і властивостей в лівій і правій частинах горизонтальних плит з  $\Lambda$ -подібним перегином досягається за умови забезпечення одночасної і однакової швидкості заповнення розплавом обох частин вилівка крізь симетричну ливникову систему (рис. 5, а). При заповненні боковин ливарної форми з різною швидкістю можливе часткове перетікання розплаву з однієї частини порожнини форму в іншу (рис. 5, б).

Одним з перших нових варіантів виробництва виливків двошарових брусків (див. рис. 3, б) передбачалось заливання вихідного чавуну крізь загальну ливникову систему з частковим його модифікуванням у реакційній камері зменшеною кількістю карбідостабілізуючого сплаву НМг15 і наступним прямуванням немодифікованого чавуну крізь порожню камеру у верхній шар виливка

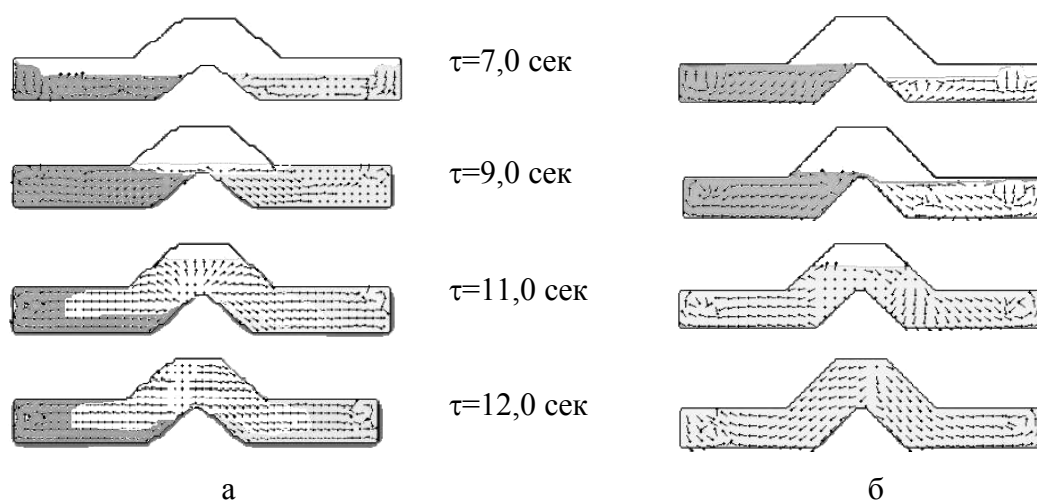


Рис. 5 – Комп'ютерне моделювання кінетики процесу заповнення розплавом порожнини ливарної форми горизонтальної плити з  $\Lambda$ -подібним перегином в випадку надходження металу з лівого і правого живильників з однаковою (а) і різною (б) швидкістю

Однак комп'ютерним моделюванням і результатами лабораторних плавок встановили неможливість реалізації подібного методу з причини гідродинамічного і теплоконвекційного перемішування та дифузійного вирівнювання хімічного складу модифікованого і немодифікованого чавунів у порожнині форми.

Єдиним бар'єром, що знижує інтенсивність взаємного перемішування та дифузійний перерозподіл кремнію і магнію за височиною перерізу стінки виливка, могла б стати тверда або напівтверда фаза на дзеркалі чавуну, залитого в нижню частину порожнини форми. Для її утворення необхідно заливати форми крізь дві незалежні ливникові системи (див. рис. 1, б,г,е,з) з оптимальною витримкою в часі між двома етапами заливання. При цьому було б бажано, щоб після другого етапу заливання така розмежувальна скориночка повністю розчинялася теплом чавуну верхнього шару виливка.

Комп'ютерним моделюванням гідродинамічних і теплових процесів встановили, що в умовах лабораторного експерименту оптимальний час подібної витримки повинен знаходитися у межах 80...90 сек. (рис. 6).

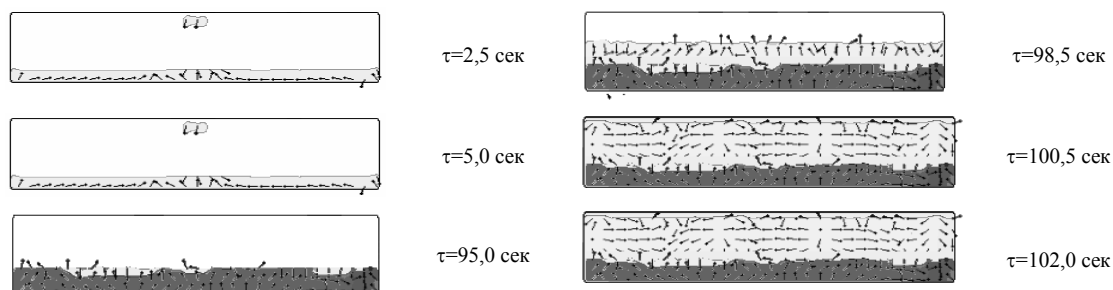


Рис 6 – Комп'ютерне моделювання двоетапного заливання порожнини ливарної форми з 90 сек. витримкою між двома етапами заливання

За подібним конструктивно-технологічним варіантом (див. рис. 1, е) в експериментальних плавках після часткового заливання форми вихідним сірим чавуном у кількості 22...25% від 10...12 кг крізь ливникову систему з карбідостабілізуючим модифікатором НМг15 за кривими охолодження верхнього шару модифікованого чавуну встановили, що час його знаходження у рідкому стані складає 20...30 сек., а у рідко-твердому від початку теплової зупинки за температурою ліквідус до закінчення евтектичної кристалізації за температурою солідус – 50...60 сек. Тому після паузи у 70...90 сек. і доливанням форми крізь другу ливникову систему без реакційної камери стабільно отримували двошарові виливки з сірого чавуну твердістю 170...187 НВ з вибіленим нижнім шаром висотою 8...12 мм твердістю 375...401 НВ (рис. 7, а). Часткова графітизація з утворення кулястого графіту дещо зменшує твердість модифікованого чавуну у нижньому

шарі відносно твердості повністю вибіленого чавуну, яка здебільшого перевищує 440 НВ.

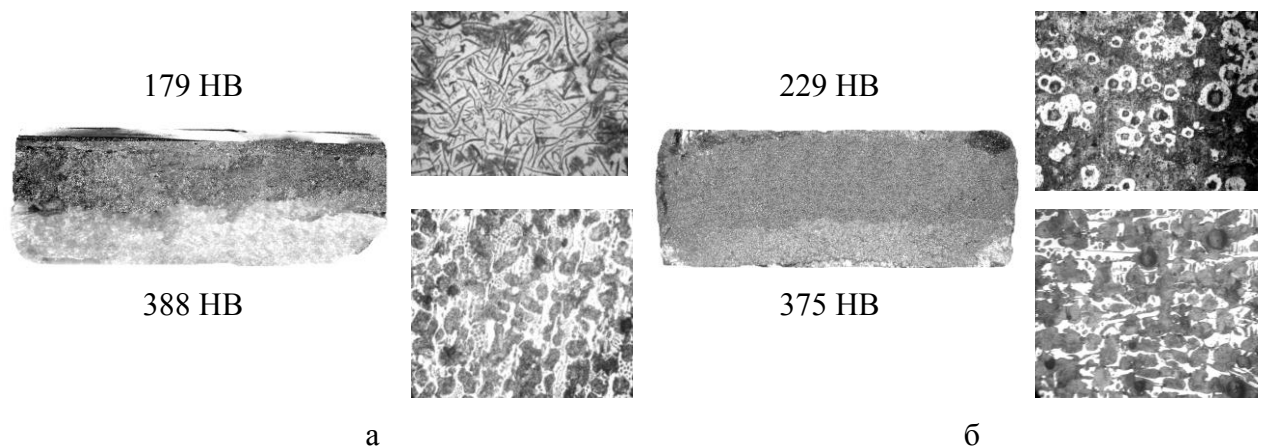


Рис. 7 – Мікроструктура, твердість і колір зламу перерізу 50-мм двошарового бруску з вихідного сірого чавуну, модифікованого на першому етапі заливання форми карбідостабілізуючим сплавом НМг15 з доливанням крізь ливникову систему без реакційної камери (а) та з доливанням крізь ливникову систему з реакційною камерою із сфероїдизуючим сплавом ФСМг7 (б)

Більш перспективну пару з білого і високоміцного чавунів у лабораторних плавках отримали заливанням вихідного сірого чавуну спочатку крізь ливникову систему з карбідостабілізуючим модифікатором НМг15, а після паузи у 70...80 сек. – доливанням форми крізь іншу ливникову систему із сфероїдизуючим модифікатором ФСМг7 (див. рис. 1, б). За таким конструктивно-технологічним варіантом у верхньому шарі вилівка кристалізується перлітний високоміцний чавун з кулястим графітом твердістю 223...235 НВ, а у нижньому – перлітний чавун з ледебуритною евтектикою та окремими включенням кулястого графіту твердістю 375...388 НВ (рис. 7, б).

В результаті виконаних досліджень теоретично обґрунтовано і практично реалізовано технологічний процес диференціації структури і властивостей сплаву у окремих частинах двобічних і двошарових виливків карбідостабілізуючим і сфероїдизуючим модифікуванням сірого чавуну евтектичного складу у ливарній формі.

**В п'ятому розділі** представлені результати дослідження процесу диференційованого графітизуючого і сфероїдизуючого модифікування у ливарній формі вихідного білого чавуну доевтектичного складу, схильного до кристалізації за метастабільною системою з вибіленням.

Враховуючи пряму пропорційну залежність зносостійкості від твердості, а твердості від кількості карбідів заліза в мікроструктурі, хімічний склад вихідного сплаву підтримували в діапазоні 2,6...3,0%С; 0,4...0,5% Si; 0,2...0,4%Mn; 0,04...0,06%P; 0,02...0,03%S.



Обробленням результатів експериментів з двобічною плитою з  $\Lambda$ -подібним перегином з прямуванням частини вихідного чавуну у одну боковину форми крізь реакційну камеру із сфероїдизуючим модифікатором ФСМг7, а у іншу – без модифікування (див. рис. 1, в) визначили, що твердість поверхні однієї боковини плити з високоміцного чавуну з кулястим графітом складає 217...229 НВ, а твердість поверхні іншої боковини плити з немодифікованого білого чавуну досягає 388...401 НВ. При цьому твердість обох боковин дещо збільшується у напрямі торців і зменшується у напрямі центрального перегину (рис. 8).

В центральних зонах поперечного перерізу виливків поряд з мікроструктурами білого і високоміцного чавуну з кулястим графітом спостерігаються ділянки мікроструктур половинчастого, а також сірого чавуну з різноманітними формами графіту. Було висунуто припущення, що подібне явище викликане дифузією магнію і кремнію крізь  $\Lambda$ -подібний перегин в рідкому і рідко-твердому сплаві з однієї частини плити в іншу. Для перевірки цього припущення в серії плавок висоту перегину послідовно зменшували з 25 до 5 мм. Тим самим площу торцевого контакту двох стрічних потоків різнорідних чавунів штучно скорочували у п'ять разів.

Аналіз результатів проведених експериментів показав, що при зменшенні площі торцевого контакту різнорідних потоків чавунів в ливарній формі відносна площа перерізу плити з половинчастого чавуну закономірно скорочується з 25% практично до нуля. При цьому диференціація структури і твердості чавунів в лівій і правій частинах біметалевих виливків стає більш вираженою. Хімічним аналізом встановлено, що за час від зіткнення двох потоків різнорідних чавунів до закінчення їх евтектичної кристалізації незначна частина сфероїдизуючого магнію і графітізуючого кремнію дифундують з чавуна однієї частини вилівка в іншу його частину. При цьому в результаті перерозподілу елементів-модифікаторів в осьовій зоні вилівка порушуються оптимальні технологічні умови кристалізації повністю білого або повністю високоміцного чавуну.

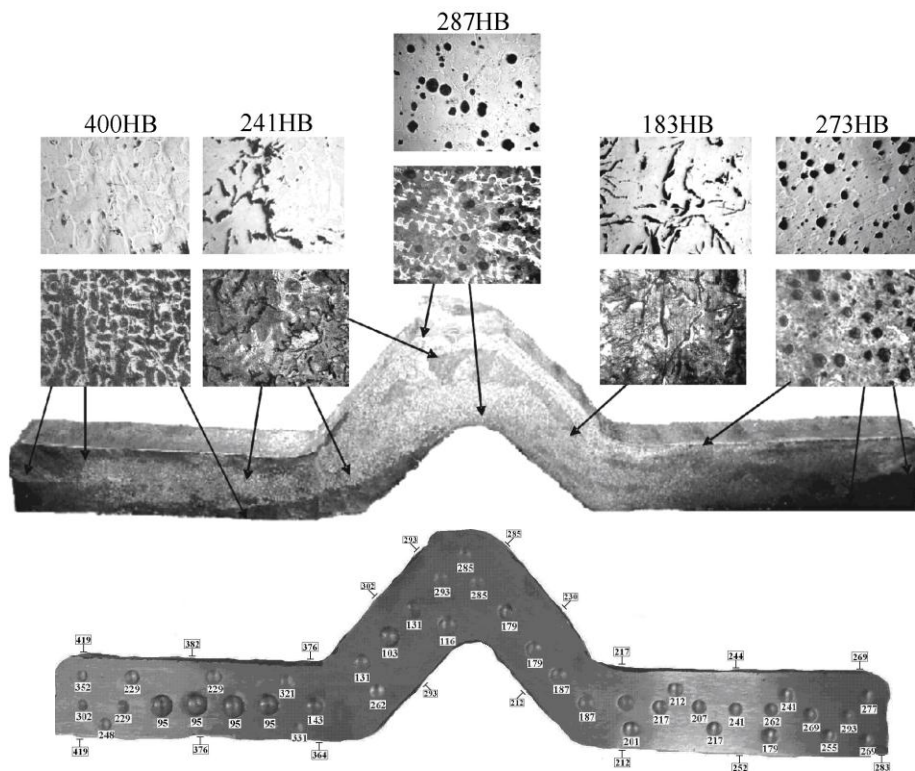


Рис. 8 – Мікроструктура, твердість і колір зламу перерізу двобічної плити з вихідного білого чавуну, права частина якого модифікована сфероїдизуючим сплавом ФСМг7

Висока швидкість дифузії кремнію у рідкому і рідко-твердому чавуні свідчить на користь гіпотези про флуктуаційний механізм і кінетику графітизуючого модифікування чавуну, всупереч інокуляційної зародкової гіпотези.

Якщо в реакційну камеру замість сфероїдизуючого модифікатора ФСМг7 завантажувати графітизуючий феросиліцій ФС75 (див. рис. 1, ж), одна з боковин плити стабільно кристалізується з сірого, а інша з білого чавунів з різницею твердості до 180 НВ (рис. 9).



Рис. 9 – Мікроструктура, твердість і колір зламу перерізу двобічної плити з вихідного білого чавуну, ліва частина якого модифікована графітизуючим феросиліцієм ФС75

Позитивні результати диференціації властивостей двошарового виливка з вихідного

білого чавуну з його частковим сфероїдизуючим модифікуванням сплавом ФСМг7 за двоетапним методом заливання (див. рис. 1, г) досягаються при витримці між етапами 60...120 сек. (рис. 10 та 11).

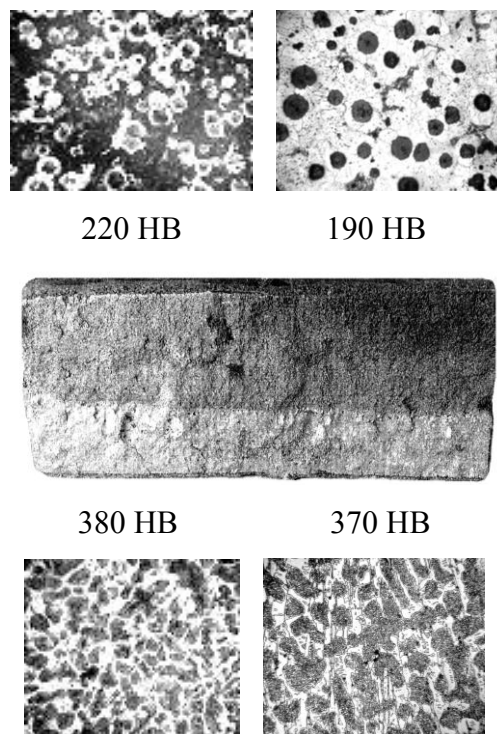


Рис. 10 – Мікроструктура, твердість і колір зламу перерізу верхнього і нижнього шару вилівка з білого чавуну, модифікованого на другому етапі заливання сплавом ФСМг7 у литому стані (зліва) та після низькотемпературного відпалу (справа)

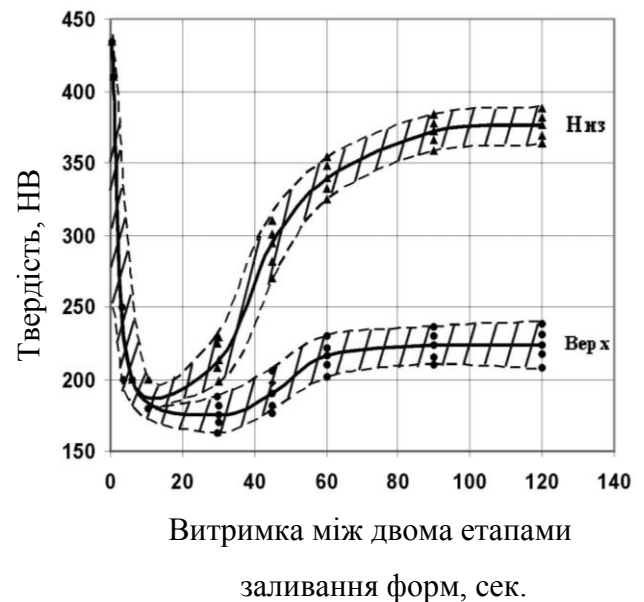


Рис. 11 – Вплив тривалості витримки між двома етапами заливання форми чавуном на твердість верхньої і нижньої поверхні двошарового вилівка.

Проте і в діапазоні витримок 60...120 сек. якість біметалевих вилівок не однакова. Зокрема, при витримці протягом 60 сек. товщина вибіленого шару не рівномірна і збільшується у всі боки від термічного вузла вилівка (рис.12, а). В процесі витримки протягом 120 сек. на поверхні металу у недолитій формі утворюється проміжна окисна плівка, яка призводить до часткового розшарування двох різнорідних чавунів (рис.12, б). При надмірно зайвій тривалості витримки в результаті відшарування формувальної суміші у порожнині неповністю залитої форми між шарами з білого і високоміцного чавунів може виявитися нерівномірний безформний прошарок спеченого кварцового піску (рис. 12, в). При первинному пропусканні чавуну крізь реакційну камеру залишки її заряду, що не розчинилися, і продукти реакції модифікування затримуються в шлаковловлювачах,

розташованих вище площини роз'єму форми. Переривання процесу заливання може привести до виходу частини таких продуктів в робочу порожнину нижньої півформи. При подальшому доливанні вихідного чавуну на дзеркало металу з частинками модифікатора, що не розчинився, реакція модифікування може поновитися. В результаті верхній шар вибіленого чавуну вражається крупними газовими раковинами, утвореними парами магнію (рис. 12, г).

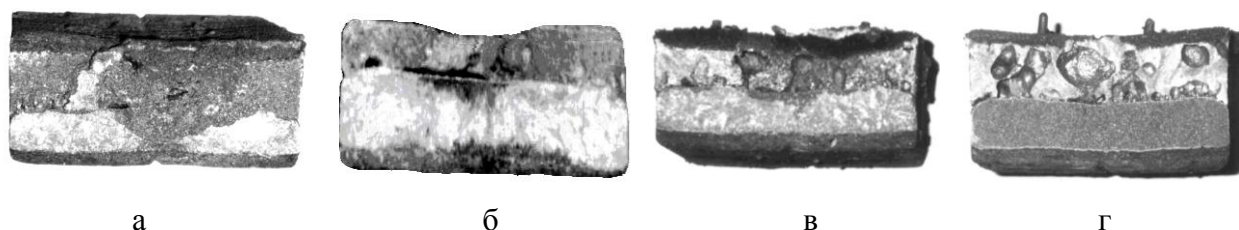


Рис. 12. Колір зламу біметалевих виливків в разі недостатньої (а) та збиткової (б) витримці між двома етапами заливання форми; неякісній формувальній суміші (в); неефективній шлаковловлювальній системі (г)

Якісний щільний злам з рівномірним за товщиною вибіленим шаром і чіткою межею розділу між білим і високоміцним чавуном забезпечує витримка між закінченням першого і початком другого етапу заливання форм крізь реакційну камеру з модифікатором протягом 90 сек. (див. рис. 10). Диференціації мікроструктури призводить до різниці твердості між верхньою і нижньою базовими площинами виливка до 140...150 НВ. При цьому твердість верхньої поверхні плити в литому стані складає 220...240 НВ, а нижньої – 370...390 НВ (див. рис.11).

Встановили, що додатковий низькотемпературний відпал двошарових виливків при 760°C протягом 4 годин з подальшим повільним їх охолодженням разом з піччю збільшує різницю твердості протилежних площин до 170...180 НВ за рахунок повної феритизації металевої матриці чавуну з кулястим графітом (див. рис. 10).

За аналогічним конструктивно-технологічним варіантом з графітизуючим модифікуванням (див. рис 1, з) кристалізуються двобічні виливки з білого і сірого чавунів з різницею твердості 200...220 НВ.

**У шостому розділі** наведені результати розробки та апробації технологічних процесів виготовлення промислових двошарових і двобічних виливків із структурою і властивостями в'язко-пластичного високоміцного чавуну з кулястим графітом в одній частині і білого зносостійкого чавуну в іншій частині деталі. Розроблена технологія пройшла успішну промислову апробацію на Краматорському ТОВ Лінгвей, ВАТ Старокраматорський машинобудівний завод та Рівненському ТОВ Топаз на двобічних і двошарових чавунних

вливках "Плита бронифутеровальна", "Ніж", "Щока дробарки", "Подушка", "Силовa тяга". Планова собівартість виробництва двошарових чавунних виливків у 2,4 рази нижче, а строк експлуатації у 1,4 вище, ніж монолітних виливків із зносостійкої сталі 110Г13Л.

## ВИСНОВКИ

1. Сучасна техніка потребує значну кількість деталей, які повинні мати тверду зносостійку робочу поверхню або робочий елемент і м'яку ударостійку матричну підкладку, серцевину або елементи монтажного кріплення.

2. Зносостійкість литих деталей машин і механізмів забезпечує вибілений чавун з твердими карбідами заліза у мікроструктурі, а підвищену пластичність та ударну в'язкість – високоміцний феритний чавун з кулястим графітом.

3. Більшість відомих технологічних процесів виробництва двошарових виливків базується на виплавлянні різнорідних чавунів у окремих плавильних печах з наступним їх послідовним заливанням у загальну ливарну форму або виливницю відцентрового лиття.

4. В роботі запропоновано і досліджено принципово новий спосіб диференціації мікроструктури і властивостей сплаву у окремих частинах виливка з чавуну, виплавленого у одній печі. Ідея методу полягає в розділенні вихідного білого або сірого чавуну під час заливання ливарної форми на два потоки, один з яких прямує безпосередньо у форму, а інший – спочатку піддається графітизуючому, сфероїдизуючому або карбідостабілізуючому модифікуванню у реакційній камері ливникової системи, а потім прямує у іншу частину форми. Можливе також модифікування двох потоків вихідного чавуну у двох реакційних камерах різнорідними за функціональним призначенням модифікаторами.

5. Визначено вісім найбільш перспективних конструктивно-технологічних варіантів виробництва двошарових та двобічних виливків диференційованим модифікуванням чавуну у ливарній формі.

6. Оптимальні результати внутрішньоформового графітизуючого модифікування чавуну, схильного до кристалізації з вибіленням, досягаються при використанні знепиленого гранульованого феросиліцію ФС75 з розміром зерен  $7,5 \pm 2,5$  мм.

7. Як заряд реакційної камери, що стабілізує карбіди заліза в структурі чавуну, схильного до кристалізації з графітизацією, рекомендовано нікель-магнієвий сплав НМг15 з розміром зерен до 10 мм, включаючи і пилоподібну фракцію.

8. Для сфероїдизуючого модифікування чавуну у ливарній формі доцільно застосовувати знепилений гранульований модифікатор ФСМг7 з розміром зерен  $5,0 \pm 2,5$  мм.

9. Подвійне карбідостабілізуюче модифікування сірого чавуну у одній боковині ливарної форми сплавом НМг15 і сфероїдизуюче модифікування сплавом ФСМг7 у іншій

боковині призводить до диференціації структури і двократній різниці твердості різнорідних чавунів лише у плиті з перерізом стінки 10 мм. Структура і твердість чавуну з кулястим графітом у виливках двобічної плити перерізом 25 мм практично не відрізняються.

10. В процесі виробництва двошарових виливків після часткового заливання форми вихідним сірим чавуном з карбідостабілізуючим модифікатором, паузою у 70...90 сек. для утворення твердої межової фази і доливанням форми крізь другу ливникову систему без реакційної камери кристалізується двошаровий виливок з сірого чавуну з вибіленим нижнім шаром. В разі двократного модифікування вихідного сірого чавуну спочатку карбідостабілізуючим модифікатором, а після такої самої паузи – сфероїдизуючим модифікуванням у верхній частині порожнини форми кристалізується перлітний високоміцний чавун з кулястим графітом, а в нижній – шар з вибіленого чавуну. В обох випадках твердість вибіленого шару складає 370...390 НВ, а матричної підкладки – 180...230 НВ.

11. В результаті модифікування частини вихідного білого чавуну сфероїдизуючим сплавом ФСМг7 між боковинами двобічної плити з вихідного білого і модифікованого високоміцного чавунів досягається майже двократна різниця твердості. Однак у перехідній зоні термічного вузла вилівка формується зона половинчастого чавуну. Зменшення площі контакту різнорідних чавунів зменшує відносну площу подібної перехідної зони. При цьому в разі заміни сфероїдизуючого сплаву ФСМг7 графітізуючим феросиліцієм ФС75, одна з боковин плити стабільно кристалізується з сірого, а інша з білого чавунів з достатньо вузькою перехідною зоною половинчастого чавуну.

12. Диференціація структури і властивостей чавуну, схильного до кристалізації з вибіленням, сфероїдизуючим модифікуванням частини його потоку при виробництві виливків типу бруска масою за висотою перерізу стінки 50 мм досягається лише при витримці між двома етапами заливання форми на протязі 60...90 сек. При цьому різниця твердості протилежних поверхонь вилівка складає 140...150 НВ і може бути підвищена до 170...180 НВ низькотемпературним феритизуючим відпалом. Перехідна зона між верхнім і нижнім шарами відповідно з високоміцного і з білого чавунів у перерізі стінки бруска практично відсутня. За аналогічним конструктивно-технологічним варіантом з графітізуючим модифікуванням кристалізуються двошарові виливки з білого і сірого чавунів з різницею твердості 200...220 НВ.

13. Порушення відпрацьованих режимів модифікування призводить до утворення окисної плівки, розшаруванню, усадковим і газовим раковинам, шлаковому і піщаному забрудненню перехідної зони двошарових чавунних виливків.

14. Розроблений технологічний процес виробництва біметалевих чавунних виливків

витримає успішні промислові випробування на трьох заводах. Планова собівартість виробництва двошарових чавунних виливків у 2,4 рази нижче, а строк експлуатації у 1,4 вище, ніж монолітних виливків із зносостійкої сталі 110Г13Л.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Косячков В.А., Фесенко М.А., Денисенко Д.В. Перспективы производства биметаллических отливок модифицированием чугуна в литейной форме // Процессы литья. – 2004. – №4. – С.80–84.
2. Фесенко М.А. Оптимизация состава присадки для графитизирующего модифицирования чугуна в литейной форме // Литейное производство. – 2005. – №10. – С.13–15.
3. Косячков В.А., Фесенко М.А., Денисенко Д.В. Оптимизация присадок для дифференцированного графитизирующего, карбидостабилизирующего и сфероидизирующего модифицирования чугуна в литейной форме // Процессы литья. – 2005. – №4. – С.34...40.
4. Модифицирование чугуна в литейной форме сфероидизирующими присадками / Макаревич А.П., Фесенко М.А., Фесенко А.Н., Косячков В.А. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2005. – №2. – С.101–106.
5. Косячков В.А., Фесенко М.А., Чайковский А.А. Дифференциация структуры и свойств сечения стенки отливки модифицированием чугуна в литейной форме // Процессы литья. – 2006. – №1. – С.85–90.
6. Чернега Д.Ф., Косячков В.А., Фесенко М.А. Нові технологічні варіанти сфероїдируючого модифікування чавуну в ливарній формі. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета и Северо-Восточного научного центра Транспортной академии Украины. – Сборник научных трудов. – Выпуск 33. – Харьков. – 2006. – С.9-11.
7. Косячков В. А., Фесенко М. А. Интенсификация растворения мелкодисперсной присадки при модифицировании чугуна в литейной форме // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 5/1 (23). – 2006. – С.41-45.
8. Косячков В.А., Фесенко М.А. Взаимодействие белого и магниевого чугуна, модифицированного в литейной форме // Процессы литья. – 2006. – №4. – С.40-47.
9. Патент України №6778. МПК. 7С21С1/00. Спосіб модифікування чавуну у реакційній камері ливарної форми / Косячков В.О., Макаревич О.П., Фесенко М.А. / Заявл. 19.11.2004. Опубл. 16.05.05. Бюл. № 5, 2005 р.

10. Патент України №09104. МПК. B22D27/00 Спосіб обробки чавуну в ливарній формі. / Фесенко А.Н., Фесенко М.А. / Заявл. 26.09.2005. Опубл. 17.04.06. Бюл. № 4.

11. Патент України № 09284. МПК. B22D27/00. Спосіб обробки рідкого металу в ливарній формі / Фесенко А.Н., Фесенко М.А. / Заявл.03.10.2005. Опубл. 17.04.06. Бюл. № 4.

**Особистий внесок здобувача** в опублікованих у співавторстві роботах:

[1,3-8] – планування експерименту, розроблення методики, проведення експериментальних досліджень, оброблення і оцінка результатів.

[9,10,11] – проведення експериментальних перевірок нових технічних рішень, покладених у формулу винаходу, оформлення заявок на винахід.

### **АННОТАЦИЯ**

**Фесенко М. А. Дифференциация свойств частей отливки модифицированием чугуна в литейной форме. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство. – Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 2007 г.

Исследованы особенности восьми новых конструктивно-технологических вариантов изготовления двухслойных и двухсторонних отливок из износостойкого белого и ударостойкого высокопрочного или мягкого серого чугунов дифференцированным графитизирующим, карбидостабилизирующим и сфероидизирующим модифицированием исходного серого или белого чугунов в литейной форме.

Установлены функциональные зависимости основных показателей качества двухслойных и двухсторонних чугунных отливок от технологических параметров процесса модифицирования жидкого металла в реакционных камерах литниковой системы формы.

Определены преимущества и недостатки метода.

Ключевые слова: способ производства отливок; дифференциация свойств; двухслойные отливки; двухсторонние отливки; модифицирование в литейной форме; белый чугун; серый чугун; высокопрочный чугун.

### **АНОТАЦІЯ**

**Фесенко М. А. Диференціація властивостей частин виливка модифікуванням чавуну в ливарній формі. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.16.04 – Ливарне виробництво. – Національний технічний університет України «Київський



політехнічний інститут», Київ, 2007 р.

Досліджені особливості восьми нових конструктивно-технологічних варіантів виготовлення двошарових та двобічних виливків із зносостійкого білого та ударостійкого високоміцного або м'якого сірого чавунів диференційованим графітуючим, карбідостабілізуючим і сфероїдизуючим модифікуванням вихідного сірого або білого чавуніву ливарній формі.

Встановлені функціональні залежності основних показників якості двошарових та двобічних чавунних виливків від технологічних параметрів процесу модифікування рідкого металу у реакційних камерах ливникової системи форми.

Визначені переваги і недоліки методу.

Ключові слова: спосіб виробництва виливків; диференціація властивостей; двошарові виливки; двобічні виливки; модифікування у ливарній формі; білий чавун; сірий чавун; високоміцний чавун.

## ANNOTATION

**Fesenko M. A. Differentiation properties of parts of casting by modification of cast-iron in a casting form.** Manuscript. Dissertation on competition of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.16.04 - Casting production. National technical university of Ukraine is the «Kiev polytechnic institute», Kiev, 2007.

Dissertation is devoted to development of technological process of receipt of the cast-iron bimetallic castings with differentiated by a structure and properties on volume, to the section or in separate parts of casting from base cast-iron by the method of in-mould modification.

It is shown that for making of composition bimetallic wares the use of technology of in-mould treatment of base fusion is the most perspective direction directly at the inundation of him in a casting form by modifiers or other additions different on the functional setting.

On the basis of the conducted theoretical and experimental researches optimum compositions of charges of reactionary chambers for graphitization, carbidization and spheroidization modification of cast-iron in a casting form on the base of domestic modifiers are developed, providing the assured receipt of the set structure and properties of cast-iron in casting. New methods of intensification of dissolution of additions are offered.

An original method and new technological variants of modification of cast-iron is offered directly in a casting form for the receipt of the bimetallic castings with a working hard surface from white cast-iron in one part of casting and soft blow firmness matrix from high - strength cast-iron with a spherical graphite in other part of casting.

The methods of computer and physical design, and also model experiments, conduct

researches of influencing of basic technological parameters on quality of the bimetallic castings. The optimum technological modes of making of the experimental bimetallic castings are certain.

The technological processes of receipt of the experimentally-industrial bimetallic castings are developed and tested in laboratory and production terms.

Keywords: bimetallic castings, modification, in-mould treatment, wearproof white cast-iron, high - strength cast-iron with a spherical graphite, structure, physical design, technology, melting, inundation.