

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

КАЛАШНІКОВА АЛІНА ЮРІЇВНА

УДК 621.74:669.13

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ОДЕРЖАННЯ ВИЛИВКІВ З МОДИФІКОВАНИХ
ЗНОСОСТІЙКИХ ЧАВУНІВ ДЛЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ТА
ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Спеціальність 05.16.04 – Ливарне виробництво

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національній металургійній академії України Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Іванова Людмила Харитонівна,
Національна металургійна академія
України, професор кафедри ливарного
виробництва, м. Дніпро.

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Пономаренко Ольга Іванівна,
Національний технічний університет
«ХПІ» МОН України, професор кафедри
ливарного виробництва, м. Харків

кандидат технічних наук,
Стороженко Світлана Анатоліївна,
Дніпровський державний технічний
університет, доцент кафедри металургії
чорних металів імені професора
В.І. Логінова, м. Кам'янське.

Захист відбудеться «___» _____ 2018 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.084.02 при Національній металургійній академії України за адресою: 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національної металургійної академії України за адресою: 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

Автореферат розісланий “___” _____ 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

Т.М. Миронова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах сучасної економіки особливо актуальними є впровадження технологічних рішень здатних забезпечити економію енергоресурсів, коштовних легувальних матеріалів та підвищення економічної ефективності виробництва.

Для виробництва високонавантажених деталей гірничого та металургійного обладнання широко застосовуються зносостійкі чавуни. Підвищення якості, і, як наслідок, підвищення експлуатаційних характеристик обладнання, що виробляється, є можливим, з умовою економії енергоресурсів, за рахунок використання комплексного модифікування, оптимізації хімічного складу, проведення термічної обробки литих виробів для зняття залишкових напружень, проектування та впровадження високоефективних та економічних технологічних процесів виготовлення литих виробів з застосуванням сучасних комп'ютерних інструментів.

Чисельні дослідження, що були проведені вітчизняними та іноземними вченими та дослідниками, у числі яких Бунін К.П., Таран-Жовнір Ю.М., Бобро Ю.Г., Гарбер М.Є., Ципін І.І. та інші, доводять, що модифікування білих чавунів є ефективним інструментом для підвищення їх механічних та експлуатаційних властивостей. Тим не менш на сьогодні такі дослідження щодо чавунів різного ступеня легування вивчені не повною мірою, зокрема, не досліджено вплив комплексних модифікаторів на основі рідкоземельних металів (РЗМ), швидкості твердіння та термічної обробки на структуру та властивості чавунів.

Таким чином, дослідження, спрямовані на пошук нових ефективних технологій виробництва литих виробів із чавунів різного ступеня легування з застосуванням вищенаведених методів і відсутність відповідних досліджень дає привід вважати дисертаційну роботу **актуальною**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до Держбюджетної тематики НМетАУ: «Розробка фізико-хімічних основ створення нових високотвердих ливарних сплавів із використанням нанодисперсних матеріалів» (ДР 0110U003239) у період 2010-2012 рр. Автор була виконавцем цієї роботи.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розробка ефективних менш витратних технологічних рішень, комплексне застосування яких дозволяє підвищити якісні та експлуатаційні показники виливків зі зносостійких чавунів.

Для досягнення поставленої мети в роботі було необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити вплив матеріалу ливарної форми та модифікування комплексним модифікатором на основі РЗМ на структуру та властивості білих низьколегованих чавунів;
- дослідити вплив модифікування комплексним модифікатором на основі РЗМ та термічної обробки на структуру та властивості білих середньолегованих хромонікелевих чавунів;

- дослідити вплив модифікування комплексним модифікатором на основі РЗМ на структуру та властивості білих високолегованих хромистих чавунів;
- оптимізувати параметри технології та конструкцію кокілю для виготовлення куль що мелють з низьколегованого чавуну;
- на підставі виробничих досліджень розробити технологічну інструкцію на виплавку високохромистого зносостійкого чавуну модифікованого комплексним модифікатором методом переплавки відходів виробництва ИЧХ28Н2 для використання у виробництві ПАТ «Марганецький рудоремонтний завод»;
- випробувати розроблені технології у виробництві виливків у промислових умовах та впровадити наукові та технологічні розробки в навчальний процес НМетАУ.

Об'єкт дослідження: технологічні процеси лиття деталей металургійного та гірничо-збагачувального обладнання: корпусів насосів багерів, прокатних валків, подрібнювальних куль з модифікованих зносостійких чавунів.

Предмет дослідження: закономірності процесів формування структури, отримання підвищених механічних і експлуатаційних властивостей в модифікованих чавунних сплавах для високонавантажених деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовували сучасні стандартні методи хімічного, металографічного, фрактографічного аналізу, а також визначення фізико-механічних властивостей чавунів. В процесі обробки отриманих результатів застосовували методи математичного планування і оптимізації експерименту. Дослідження гідродинамічних процесів виконано за допомогою комп'ютерного 3D моделювання ливарних процесів з використанням пакета програм SolidWorks та LVMFlow. Розроблено методикку проектування та моделювання технології заливання, промивки, кристалізації двошарових прокатних валків, що виготовлені методом промивки.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше експериментально встановлені та отримані математичні закономірності сумісного впливу основних чинників технологічного процесу на структуру, механічні та експлуатаційні характеристики зносостійких чавунних подрібнювальних куль.

Розробка відрізняється комплексним урахуванням впливу технологічних параметрів виробництва, таких як матеріал ливарної форми, конструкція ливарної форми, час витримки виливка у формі, температура вибивання, середа охолодження, модифікування розплаву на службові властивості виливків. Це дозволило отримати виливки з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

2. Вперше теоретично встановлено термочасові параметри та визначені оптимальні часові рамки між твердінням робочого шару основного металу, обробленого комплексним модифікатором, і початком процесу промивки осьової зони двошарового прокатного валка.

Розробка відрізняється застосуванням багат шарової диференційованої за температурними зонами САПР моделі. Застосування процесу комп'ютерного моделювання, що складається з двох стадій, дозволило удосконалити технологію лиття двошарового прокатного валка в комбіновану ливарну форму методом промивки.

3. Вперше встановлені закономірності комплексного впливу обробки металу робочого шару двошарового прокатного валка комплексним модифікатором, що містить РЗМ, і термічної обробки – циклічного відпуску на структуроутворення і механічні властивості виливків.

Розробка відрізняється застосуванням комплексного модифікатора на основі рідкоземельних металів з цілеспрямованим впливом на процес структуроутворення литих двошарових прокатних валків. Це дало можливість підвищити міцність і експлуатаційні характеристики металу робочого шару валка при зниженні витрат легуючих елементів.

4. Отримали подальший розвиток знання про закономірності зміни структури і міцності хромистих чавунів зі зниженням на 11-13% вмістом легуючого елементу під впливом комплексного модифікування розплавів.

Розробка відрізняється цілеспрямованим використанням комплексного модифікатора на основі рідкоземельних металів для встановлення процесів структуроутворення зносостійких виливків скорегованого хімічного складу. Це дало можливість здійснити управління формуванням мікроструктури сплаву з підвищеними міцнісними і експлуатаційними характеристиками без застосування термічного оброблення та при зниженні витрат легуючих елементів, порівняно з діючим технологічним процесом.

Практичне значення отриманих результатів

На підставі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень отримані такі практичні результати:

1. Розроблено та запропоновано технологічні процеси виготовлення чавунних виливків різного ступеня легування, які дозволяють підвищити фізико-механічні та експлуатаційні характеристики.

2. Встановлено вплив основних технологічних параметрів на процес виробництва подрібнювальних куль. Розроблено та впроваджено новий склад чавуну для таких виливків (пат. 97439 «Чавун»). Технологічний процес успішно випробувано в промислових умовах.

3. Визначено закономірності впливу комплексної обробки металу робочого шару валка обробкою розплаву комплексним модифікатором, що містить РЗМ, та термічної обробки литої заготовки на структуроутворення і механічні властивості литих двошарових прокатних валків (пат. 98996 «Чавун для прокатних валків»).

4. Визначено хімічний склад високохромистого зносостійкого чавуну шляхом зменшення вмісту хрому під впливом комплексного модифікування розплавів для підвищення міцності і експлуатаційних характеристик. Технологічний процес виробництва таких виливків успішно випробуваний в промислових умовах (акт випробувань від 05.10.2014р.).

5. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес (довідка від 16.05.2017 р.) з дисциплін «Спеціальні та особливі види литва» та «Прогресивні технології лиття виливків із чорних та кольорових металів і сплавів».

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення дисертаційної роботи, що виносяться на захист, сформульовано автором особисто. Результати, отримані в дисертації, базуються на дослідженнях, проведених особисто здобувачем. Складено огляд літератури за темою роботи, зроблено основні висновки, сформульовані мета та задачі дослідження. Виконанням послідовно трьох серій експериментальних і промислових досліджень автором визначено особливості перспективних технологічних процесів виробництва виливків із комплексно модифікованих та легованих зносостійких чавунів. Автором виконано комп'ютерне моделювання трьох гідродинамічних процесів, що відбуваються під час виготовлення обраних чавунних виливків. Встановлено закономірності впливу основних технологічних параметрів на структуру та властивості виливків. Обговорення результатів досліджень, формулювання основних висновків за темою роботи виконано здобувачем спільно з науковим керівником і, частково, із співавторами публікацій.

У дисертації не використані ідеї співробітників, що сприяли виконанню роботи. Здобувач безпосередньо брав участь у розробці технології виробництва виливків із зносостійких чавунів, проведенні експериментів, аналізі та обробці експериментальних даних. Особистий внесок здобувача в роботах опублікованих в співавторстві (у порядку, наведеному у списку опублікованих робіт): розглянуто особливості застосування системного підходу для підвищення службових властивостей чавунних виливків [1, 11, 13, 19], встановлено особливості обробки рідкоземельними металами зносостійких чавунів та вплив модифікування на його властивості [2, 4, 12, 15, 21], досліджено вплив термічної обробки чавунних прокатних валків, визначено вплив термічної обробки на ліквідацію легуючих елементів в валкових чавунах [3, 5, 8, 20, 23], визначено вплив модифікування на підвищення ударостійкості чавунних виливків [6, 22], визначено вплив комплексно-модифікованих сплавів на структуру та властивості валкових чавунів [7, 14], визначено вплив хімічного складу та модифікування зносостійкого чавуну на експлуатаційні властивості [9, 16, 24], за допомогою програм комп'ютерного моделювання розроблено технологічний процес виготовлення виливків «Корпус насоса» з зносостійкого модифікованого чавуну [10, 17, 18], за допомогою програм комп'ютерного моделювання був змодельований процес двостадійної заливки двошарових валків [25].

Апробація результатів дисертації. Наукові положення та результати роботи представлені і обговорені на міжнародних конференціях: «Литво 2011», «Литво 2012», «Литво. Металургія 2013», «Литво. Металургія 2014», «Литво. Металургія 2015», «Литво. Металургія 2016» (м. Запоріжжя, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 рр.), «Нові матеріали та технології в машинобудуванні» (м. Київ, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 рр.), «Перспективні технології, матеріали та обладнання в ливарному виробництві» (м. Краматорськ, 2011, 2015 рр.), «Стра-

тегия качества в промышленности и образовании» (м. Варна, Болгарія; 2011, 2012 pp.), «METALURGIJA» SHMD'2014 (м. Шибеник, Хорватія, 2014 p.), «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2017» (м. Дніпро, 2017 p.).

Публікації. Основні матеріали і результати дисертації опубліковані в 25 друкованих працях., в тому числі, у 9 фахових виданнях, згідно вимог МОН України, 1 - стаття у фаховому іноземному виданні, 12 - матеріали наукових конференцій, новизна технічних рішень захищена у 3 патентах України на винахід.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літературних джерел зі 160 найменувань, 8 додатків, викладених на 205 сторінках. Робота містить 68 рисунків і 29 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність обраної науково-технічної задачі, яку вирішує дисертаційна робота, а також наведена оцінка сучасного стану питання. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, сформульована мета і задачі дослідження. Представлені наукова новизна, практичне значення отриманих результатів, апробація і публікації результатів дослідження, структура і обсяг дисертації.

У першому розділі наведено сучасні дані про властивості білих зносостійких чавунів. Розглянуто вплив легуючих елементів на структуроутворення та фізико - механічні властивості досліджуваних сплавів. Проведено аналіз існуючих досліджень з впливу комплексних модифікаторів на структуру, механічні та експлуатаційні властивості білих чавунів різного ступеня легування. Проведено аналіз умов експлуатації трьох визначених деталей - представників: пульповий насос, подрібнювальна куля, двошаровий прокатний валок. Розглянуті основні види зносу і навантаження, що впливають на експлуатаційні характеристики деталей представників. Встановлено актуальні тенденції та найбільш ефективні способи виробництва для кожної з деталей. Проведено детальний аналіз недоліків цих технологічних процесів, та перспективні напрямки для їх вдосконалення.

Виконано аналіз сучасних тенденцій і існуючих відомостей про застосування теплової обробки для зняття залишкових ливарних напружень у чавунних двошарових прокатних валках. Виявлено брак інформації щодо режимів теплової обробки, особливо зважаючи на значну кількість типорозмірів прокатних валків та їх виконань, з метою зняття залишкових ливарних напружень і зниження тривалості технологічного процесу виготовлення валків. Встановлено, що найбільш ефективними методами підвищення якості і властивостей виливків зі зносостійких чавунів є не єдине рішення, а комплекс окремих технологічних рішень, а саме: оптимізація хімічного складу, модифікування комплексними модифікаторами, термічна обробка, вдосконалення технологічних парамет-

рів та процесів, в тому числі із застосуванням комп'ютерних програм для проектування та оптимізації ливарних процесів.

У другому розділі викладені основні методологічні параметри роботи. Дослідження проводили на чавунах різного хімічного складу і призначення. Плавку сплавів проводили в лабораторних та промислових електропечах, як для досліджень, так і промислової апробації. Модифікування проводили з використанням комплексних модифікаторів експериментального і промислового виробництва. Контроль хімічного складу в ході плавки і в пробах визначали за допомогою спектрального аналізу на приладі «Spektromax». Дослідження температурних процесів при заливанні та охолодженні виконували за допомогою програми комп'ютерного моделювання ливарних процесів LVMFlow. Металографічний аналіз дослідних сплавів проводили за ГОСТ 3443-87 на мікроскопах МІМ-7, МІМ-8М, Neophot 21 і Axiovert 200M MAT з програмним забезпеченням Axiovision 4.6. Оптимізацію отриманих результатів експерименту виконували із застосуванням математичного планування експерименту та програми STATGRAPHICS Plus 5.0. Механічні властивості чавунів: твердість, межу міцності при вигині, тимчасовий опір визначали стандартними методами. Зносостійкість чавунів визначали на установці ЛПЗ-М розробки ВНІПТ «Вуглемаш», основним критерієм значення зносостійкості є втрата маси зразків. Здатність куль протистояти абразивному зносу оцінювали за об'ємною твердістю, яку для куль діаметром 80 мм визначали за формулою: $T_{об} = 0,33H_{П} + 0,248H_{35} + 0,178H_{30} + 0,119H_{25} + 0,072H_{20} + 0,037H_{15} + 0,014H_{10} + 0,002H_5$, де $H_{П}$, H_{35} , H_{30} , H_{25} , H_{20} , H_{15} , H_{10} , H_5 - значення твердості HRC на поверхні та на відстанях 35, 30, 25, 20, 15, 10 и 5 мм від центру кулі. Ударостійкість куль визначали на спеціальній установці за кількістю ударів до їх руйнування при падінні з висоти 6 м. За допомогою комп'ютерних програм SolidWorks та LVMFlow були розроблені і змодельовані технологічні параметри ливарних технологій виробництва виливків: подрібнювальна куля, двошаровий прокатний валок та корпус насосу багеру.

У третьому розділі наведені результати досліджень з розробки і оптимізації технології лиття виливків з низьколегованих модифікованих чавунів та удосконалення технологічного процесу масового виготовлення литих куль без ливарних дефектів.

Аналіз двох промислових технологій лиття у піщані форми та у чотиримісний кокіль куль діаметром від 40 до 100 мм показав, що за таких технологій неможливо одержати кулі без дефектів. Тому були заплановані та проведені дослідження з метою удосконалення технологічного процесу виробництва чавунних куль з комплексно модифікованого чавуну з застосуванням високопродуктивного, широко поширеного методу лиття у багаторазові металеві форми на установці карусельного типу. Об'єктом дослідження була куля діаметром 80мм.

Спочатку був проведений порівняльний аналіз мікроструктури чавунів, вживаного в серійному виробництві і модифікованого рідкоземельними металами. Для виробництва куль застосовували чавун наступного складу, %: С - 3,47; Si - 1,14; Mn - 0,31; P - 0,09; S - 0,15; Fe - решта. Плавку проводили в інду-

кційній печі моделі ІЛТ-2,5. В якості модифікатора використовували комплексний модифікатор СРЗМ30 (ТУ 14-5-136-81) наступного хімічного складу, мас. %: РЗМ – 40; Si - 39,6; Al- 5,9; Fe - решта. Вміст РЗМ в модифікованому чавуні складав 0,03-0,08%. Модифікування проводили в розливних ковшах місткістю 0,12 т. Кількість модифікатору складала 0,45 мас.%. Заливання кокільних ливарних форм здійснювали при температурі розплаву 1280...1300°C. Ливарна кокільна форма була з симетричним вертикальним роз'ємом, що утворював порожнину для отримання трьох куль діаметром 80 мм. Температуру кокільних форм перед заливанням витримували в межах 110...160°C, щоб уникнути ливарного дефекту - «відхід металу».

Дослідження показало, що модифікування чинило сприятливий вплив на мікроструктуру таких виливків як куля. Так, виливки із немодифікованого сплаву серійного виробництва мали структуру білого доевтектичного чавуну, евтектичне перетворення відбувалося з утворенням стільникового ледебуриту і грубого конгломерату фаз (рис. 1,а), а евтектоїдне - з утворенням пластинчастого перліту з феритною аномальною облямівкою. Застосування комплексного модифікатора на основі РЗМ сприяло зменшенню кількості карбідної складової, що виділялася у вигляді евтектичних пластин. Перліт був щільнішим, мав трооститоподібну будову, аномальна феритна облямівка була відсутня (рис. 1,б). В роботі були також розроблені нові модифіковані склади чавунів для лиття куль з високими механічними та експлуатаційними властивостями (пат. на винаходи №№ 97439 і 99218).

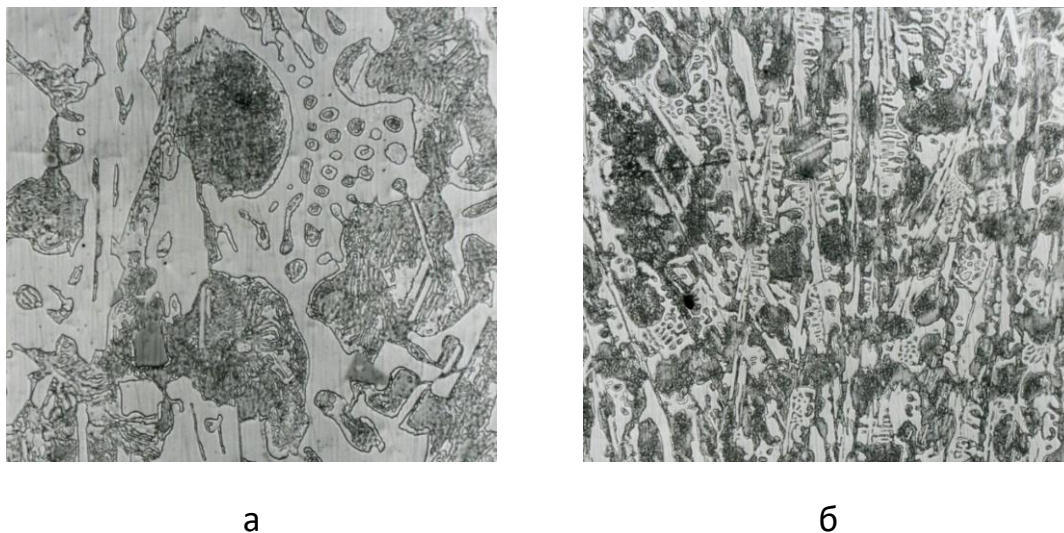


Рисунок 1 – Мікроструктура чавунів: а- серійного виробництва;
б – дослідного; 500^x

Другим завданням було визначення найбільш ефективної конструкції кокілю і дослідження процесу кристалізації в ньому за допомогою комп'ютерних програм SolidWorks та LVMFlow. Для дослідження і розробки технологічного процесу виробництва куль було обрано найбільш високопродуктивний метод отримання литих куль - застосування лінії безперервного лиття куль в кокіль,

яка відповідає наступним, прийнятим для дослідження параметрам: безперервна подача форм під заливку; дозована подача металу; контроль заповнення форм зі зливом надлишкового металу; охолодження виливків під час кристалізації; видалення виливків з кокілів.

За основу була прийнята конструкція кокілю з трьома порожнинами для отримання виливків (міжцентрова відстань між порожнинами була 130 мм). Після того, як були визначені основні первинні параметри: наявність радіатора, маса кокілю, складність виготовлення кокілю, температура докільця, здатність впливати на швидкість охолодження кокілю, були розроблені дев'ять технологічних рішень (ТР) з різними комбінаціями радіатора і модифікаціями кокілю (рис.2): ТР№1 - найбільш часто вживана, загальноприйнята конструкція кокілю з товщиною стінки 40 мм, що відповідає залежності $d_k/2 \leq l_{\phi}$.

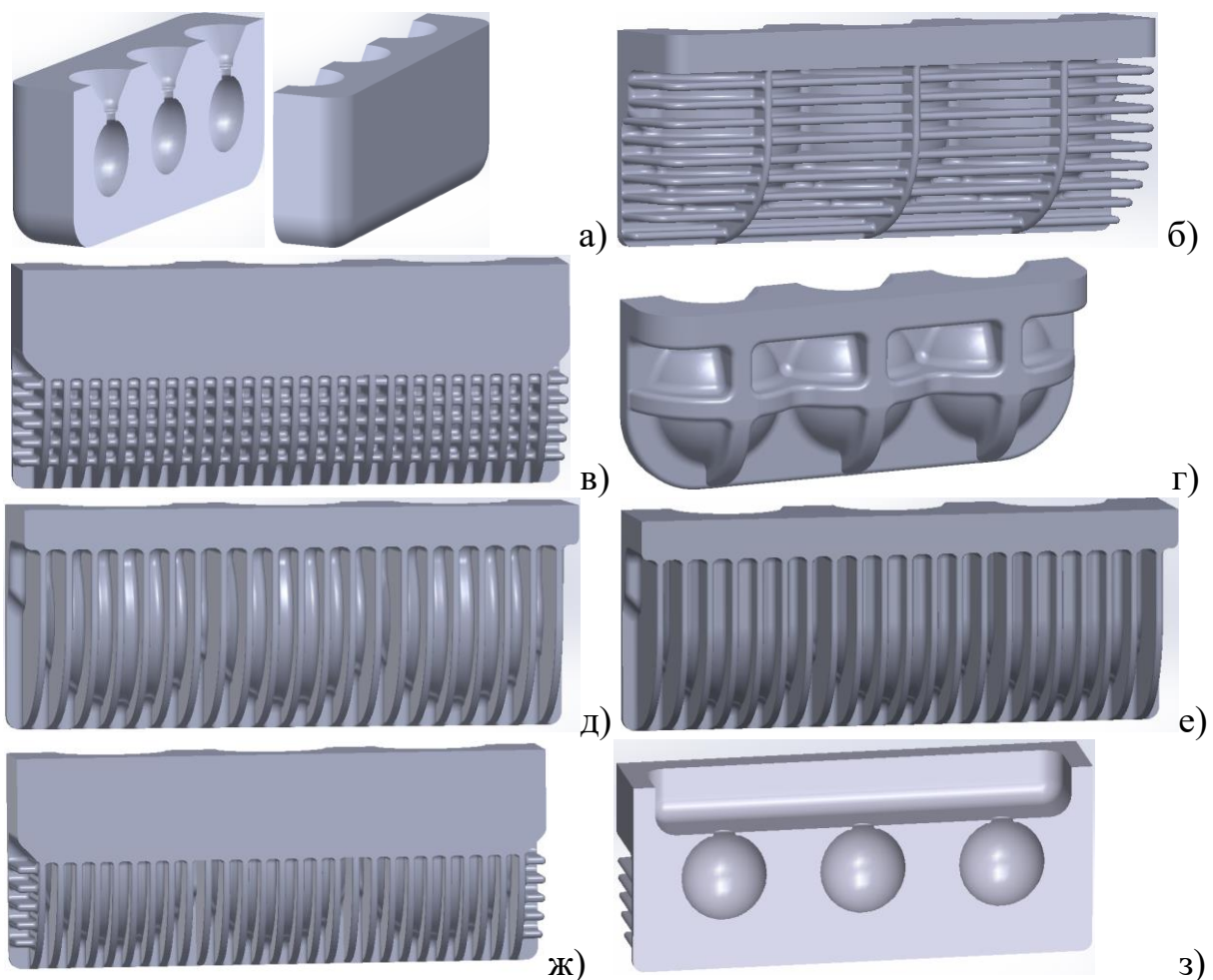


Рисунок 2 – Моделі кокілів досліджуваних технологічних рішень:
а) ТР№1; б) ТР№2; в) ТР№3; г) ТР№4; д) ТР№5; е) ТР№6; ж) ТР№7; з) ТР№8

Форма кокілю була прямокутною з вертикальним роз'ємом по осі виливка; ТР№9 – конструкція розроблена на основі кокілю ТР№1; маса кокілю відповідала середній масі кокілю, виконаного з радіатором; ТР№2-7 – конструкції кокілів з різними радіаторами; ТР№8 – конструкція кокілю з порожниною для установки екзотермічної вставки.

Після внесення експериментальних даних в план дизайну була отримана можливість їх аналізу за допомогою доступних інструментів програми STATGRAPHICS plus. Результати дисперсійного аналізу, Парето-карти, оцінки поверхні відгуку показали, що статистично значущими були наявність радіатора, маса кокілю та їх комбінація. В результаті проведеного експерименту було встановлено, що а) найефективнішим у відведенні тепла було рішення ТР№1, а найменш ефективним – ТР№9; б) рішення ТР№6 було оптимальним, оскільки поєднувало в собі наявність радіатора, що істотно зменшувало масу кокілю, ефективну тепловідвідну здатність, що трохи поступалася рішенню ТР№1, легкість виробництва через невелику кількість ребер і достатню технологічну відстань між ними.

Розробку параметрів технологічного процесу одержання куль здійснювали з застосуванням планування експерименту за повним факторним експериментом 2^4 , що був реалізований за допомогою комп'ютерної програми STATGRAPHICS plus 5.0. Досліджували вплив технологічних параметрів виготовлення виливків, таких як: наявність в сплаві РЗМ, температура вилівка при вибиванні з форми, середовище охолодження після вибивання і температура цього середовища на параметри оптимізації: об'ємну твердість і ударостійкість. Отримані результати дисперсійного аналізу, Парето-карти, оцінки поверхонь відгуку або відхилень ефектів від нормального розподілу показали, що статистично значущими були: а) для параметра «об'ємна твердість» - наявність в сплаві РЗМ; б) для параметра «ударостійкість» - наявність в сплаві РЗМ; температура вибивання; комбінація наявності РЗМ і температури вибивання; комбінація наявності РЗМ і середовище охолодження. Контроль результатів, отриманих експериментальних даних і визначення оптимального режиму отримання куль за допомогою комплексного показника якості - узагальненої функції бажаності D, дозволило вдосконалити технологічний процес за рахунок: 1 – модифікування розплавів комплексним модифікатором на основі РЗМ; 2 – вибивання виливків з ливарних форм при температурі 650...800°C; 3 – охолодження вибитих виливків на повітрі. Комплексний показник якості виливків, виготовлених за такою технологією, підвищувався на 58...60% в порівнянні з виливками серійного виробництва.

Промислові випробування удосконаленого технологічного процесу виробництва литих куль у багаторазові металеві форми на установці карусельного типу проводили в ливарному цеху ПАТ «Марганецький рудоремонтний завод». В результаті випробувань було показано, що виливки, які були виготовлені за вдосконаленою технологією, мали підвищені службові властивості: ударостійкість на 45% та об'ємну твердість - на 7%. Крім того, за рахунок зміни конструкції кокілю збільшилася швидкість охолодження при кристалізації виливків, що сприятливо відбилося на мікроструктурі їх матеріалу, знизилася витрата на технологічне оснащення через його меншу металоємність, а також підвищилася продуктивність виробничого устаткування (акт випробування від 03.04.2014 р.). Виробничі випробування удосконаленого технологічного процесу виробництва

литих куль у багаторазові металеві форми на установці карусельного типу показали поліпшення структури і службових властивостей матеріалу.

У четвертому розділі наведені результати дослідження і удосконалення технології виготовлення виливків з середньолегованих модифікованих чавунів. Об'єктом дослідження було обрано вилівок «двошаровий прокатний валок виконання ЛПХНД-71 діаметром 500 мм». Метою цієї частини роботи було дослідження і удосконалення технології виготовлення прокатних валків з застосуванням комплексної обробки: модифікування комплексним модифікатором, що містить РЗМ, для підвищення властивостей та термічного оброблення заготовки валка для забезпечення підвищеної експлуатаційної надійності.

Для модифікування матеріалу робочого шару прокатного валка виконання ЛПХНД-71 застосовували комплексний модифікатор марки СРЗМ30 наступного хімічного складу, %: Si - 44%; Al - 9%; РЗМ - 32%; Fe ≤ 15%. Плавку дослідного чавуну проводили в індукційній печі моделі ПТ-6 в умовах вальцеливарного цеху, температура розплаву перед випуском була 1430-1500°C. Легований чавун з електропечі зливали повністю у ківш з подрібненим до фракції 30-50 мм модифікатором у кількості 0,15% від маси розплаву. Одночасно з випуском легованого чавуну закінчувалося накопичення промивного чавуну з вагранки. Кількість промивного чавуну була на 1-1,5 т більшою, ніж потребується для заливання валка (40-50%). Остаточний хімічний склад основного і промивного металів був у таких межах (табл. 1). При температурі 1300-1320°C основний метал заливали у валкову форму, після витримки і за такої ж температури заливали промивний метал у валкову форму.

Таблиця 1 – Хімічні склади дослідних основного і промивного металів

Сплав	Зміст хімічних елементів, % (Fe – решта)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	РЗМ
Основний	2,7- 3,0	0,2- 0,7	0,4- 0,6	< 0,15	<0,10	0,6- 1,2	3,5- 4,3	0,05- 0,08
Промивний	3,2- 3,6	2,5- 3,0	< 0,7	< 0,15	< 0,15	–	–	–

У литих відбілених валках після вибивання з ливарних форм зберігаються внутрішні залишкові напруження, причиною появи яких служить нерівномірна усадка в різних перерізах. Напруження у валках різних виконань будуть неоднаковими, і залежить це від градієнта температур між центром і поверхневими частинами, а також від градієнта температур по довжині валка.

При проектуванні і моделюванні технологічного процесу виготовлення листопрокатних валків виконання ЛПХНД-71 діаметром 500 мм за допомогою комп'ютерного моделювання були отримані дані градієнту вищезгаданих температур. За допомогою виконаного моделювання заливки і охолодження спроектованого валка визначили час з моменту початку заливки, коли на робочій поверхні бочки валка сформувався затверділий шар чавуну, що дорівнював 17 мм, який склав 4 хв. 25 с. На цьому етапі були зроблені виміри температури і геоме-

тричних розмірів основних температурних градієнтів (рис.3), встановлені термочасові параметри та визначені оптимальні часові рамки між твердінням основного металу, обробленого комплексним модифікатором, і початком процесу промивки двошарового прокатного валка.

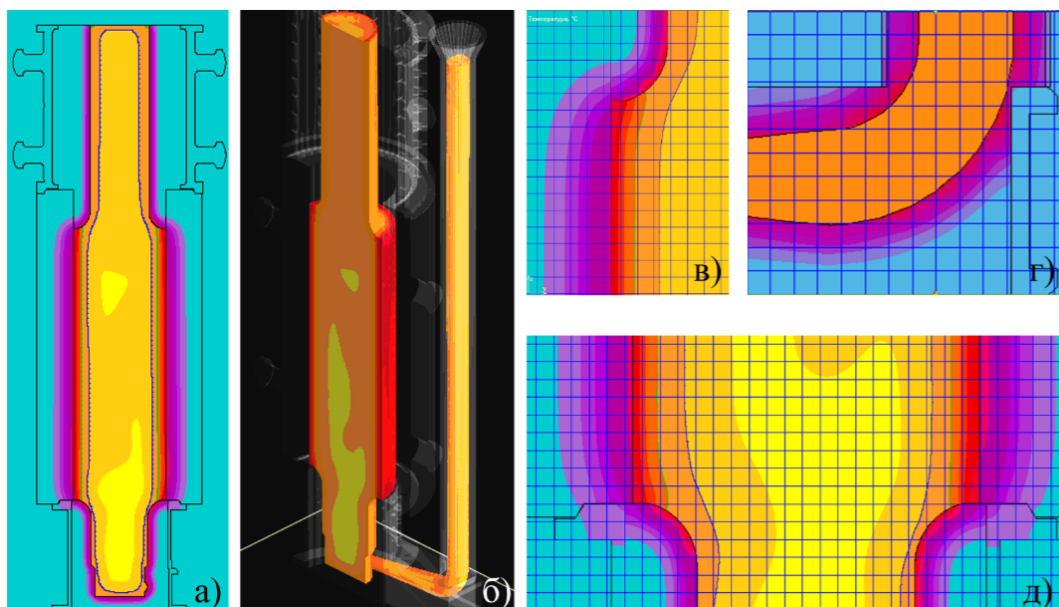


Рисунок 3 – Контроль температурних полів валка у різних перетинах після закінчення 4 хв. 25 с від початку заливки:

- а) перетин по центральній вісі валка, режим кольорового градієнту температур;
 б) режим кольорового градієнту температур, що застосовано тільки для рідкого сплаву; в, г, д) фрагменти найбільш важливих вузлів ливарної форми, режим кольорового градієнту температур застосовано для всієї форми

По завершенні моделювання встановлено, що усадочна раковина утворювалася через 160 хв., при цьому температура металу надливної частини складала 1070°C . Моделювання технологічного процесу виготовлення виливка способом лиття в комбіновану форму показало, що усадкова раковина утворювалася в нижній шийці валка. Причиною її утворення було збільшення швидкості кристалізації у верхній частині нижньої шийки форми, що контактує з кокільною частиною ливарної форми.

В ході досліджень експериментально визначали швидкість нагріву дослідних валків $25^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Різниця температур поверхні і вісі валка при швидкості нагріву $25^{\circ}\text{C}/\text{год}$ дорівнювала 40°C . Тривалість витримки при постійній температурі 250°C для валків діаметром 500 мм складала 9,5 год. Температурний перепад в процесі охолодження при термічній обробці не повинен перевищувати 25°C , а при охолодженні у формі перепад досягав 95°C .

У роботі також були проведені лабораторні дослідження для визначення термічної обробки матеріалу дослідного валка, а саме дослідили вплив циклічного відпуску при температурах $250 \Leftrightarrow 150^{\circ}\text{C}$, який проводили на установці ВДТА-8М. Металографічний аналіз показав, що при циклічному відпуску утво-

рювався перліт виду Пт2. Крім того, зі збільшенням кількості циклів до десяти у порівнянні з литим станом збільшувалася кількість фериту у 2,5 рази, тому при циклічному відпуску валків не рекомендовано збільшення кількості циклів більше чотирьох.

Таким чином, було прийнято, що для зняття внутрішньої напруги і підвищення експлуатаційної надійності для двошарового валка діаметром 500 мм режим теплового оброблення - циклічного відпуску повинен складатися з нагрівання зі швидкістю 25°C/год до температури 150°C, витримки протягом 9,5 год (з двократною циклічністю температури 250 \Leftrightarrow 150°C) та остаточного охолодження у печі зі швидкістю 25 °C/год до температури 80 °C.

Проведено дослідження структури бочок валків серійного та після комплексної обробки (модифікування та термічної обробки). Визначили, що проведена комплексна обробка призвела до зниження мікротвердості структурних складових у робочому шарі валка, що було викликано процесами відпуску бейніто-мартенситної структури матриці при термічній обробці. Порівняльний аналіз структури нижніх і верхніх шийок двошарових валків серійного виробництва і дослідного показав, що комплексна обробка не приводила до значних структурних змін.

Проведені дослідження показали, що матеріал експериментального валка (після комплексної обробки) у порівнянні з матеріалом серійного валка на відстані 10-30 мм від поверхні бочки мав підвищені механічні властивості. Так, границя міцності при розтягу σ_b була більшою на 3-7%, границя міцності при вигині $\sigma_{виг}$ - на 2-3%, а ударна в'язкість a_k - на 4-15%. На глибині 50-70 мм по бочці ці показники не змінювалися. У верхній шийці валка на відстані 10 мм від поверхні, твердість знижувалася на 4% в порівнянні з серійним, а в інших перетинах значного зменшення твердості не відбувалося. Дослідження термостійкості матеріала валків серійного та експериментального показало підвищення термостійкості на 27%. В роботі були також розроблено новий склад чавуну для лиття прокатних валків з високими механічними та експлуатаційними властивостями (пат. на винахід № 98996).

У п'ятому розділі наведено результати з розробки технології лиття виливків з високолегованих модифікованих чавунів. Об'єктом дослідження було обрано вилівок «Корпус насоса багеру», який на вітчизняних ливарних заводах виготовляють зі сплавів марок ИЧХ28Н2 і ИЧ210Х33ГЗ. Ця деталь в процесі експлуатації схильна до практично усіх видів зносу, тому представляє великий інтерес отримання сплаву з оптимальними техніко-економічними показниками.

Розробку раціонального технологічного процесу одержання розплаву здійснювали методом електродугового переплавлення відпрацьованих деталей з чавуну марки ИЧХ28Н2 з подальшим позапічним комплексним модифікуванням розплаву (табл. 2). Кількість модифікатора складала 1мас.%. Виготовлення виливків корпусів насоса здійснювали способом лиття у піщану форму.

Отриманий чавун переплаву за хімічним складом був близьким до багатьох існуючих промислових марок хромистих зносостійких чавунів, і переключи-

кався у вмісті багатьох елементів, проте повністю не співпадав ні з одним з них (рис. 4).

Таблиця 2 – Склад чавуну по розплавленню

Сплав	Залишковий вміст хімічних елементів, % (Fe – решта)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
Усереднений склад чавуну	2,4-3,1	0,9-1,1	0,4-0,7	0,02-0,08	0,03-0,08	15-17	1,0-1,5	0,1-0,15	0,006-0,012	0,15-0,4

Примітка. Хімічний склад чавуну відповідає марці ИЧХ290Х16Н(РЗМ).

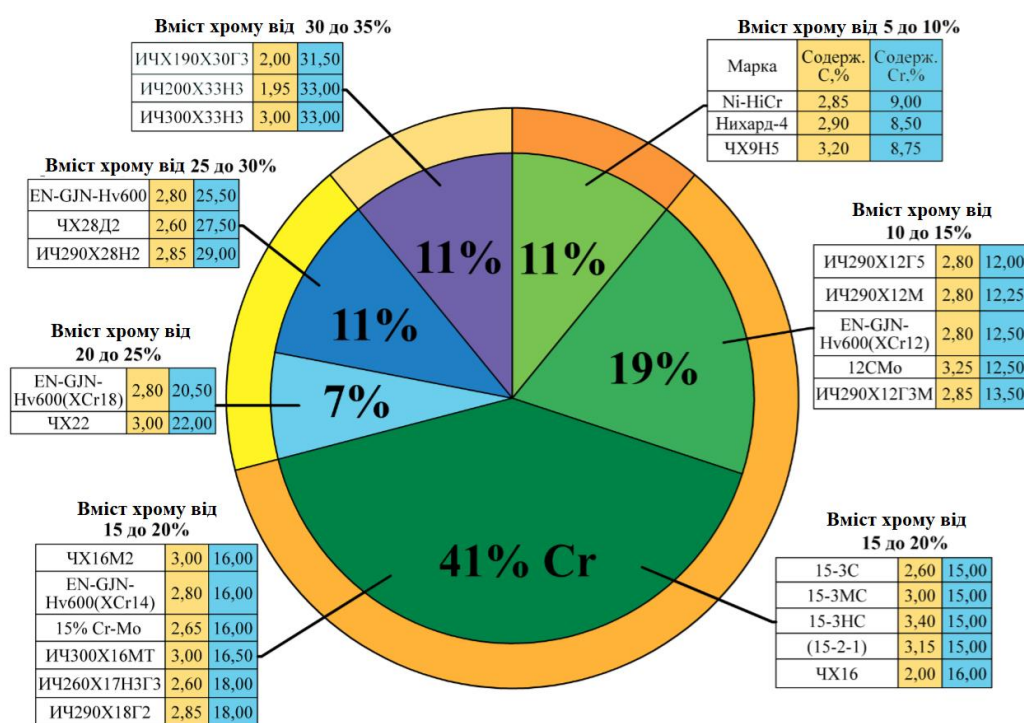


Рисунок 4 – Середній зміст хрому та вуглецю сучасних хромистих чавунів

В роботі було проведено дослідження порівняльного впливу трьох модифікаторів різних складів (табл. 3) на структуру та властивості високохромистих дослідних сплавів та сплаву серійного виробництва ИЧХ28Н2.

Таблиця 3 – Хімічний склад дослідних комплексних модифікаторів

Позначення модифікатора	Вміст хімічних елементів, %							
	Si	Mg	РЗМ	Ti	Cu	Al	Li	Fe
ФС15РЗМ10Т15М25	15	–	10	19	26	0,8	–	решта
СРЗМ30	44	–	32	–	–	9	–	
КМГ9	55	13,2	–	–	–	–	0,51	

Дослідження мікроструктури показало, що найбільш ефективним був комплексний модифікатор марки СРЗМ30. Структура сплаву після модифікування розплаву істотно відрізнялася від немодифікованого стану: кількість кар-

бідів була найбільшою, більше 37%; розмір первинних карбідів M_7C_3 істотно зменшився з 9 мкм в немодифікованому сплаві до 5 мкм – в модифікованому (рис. 5).

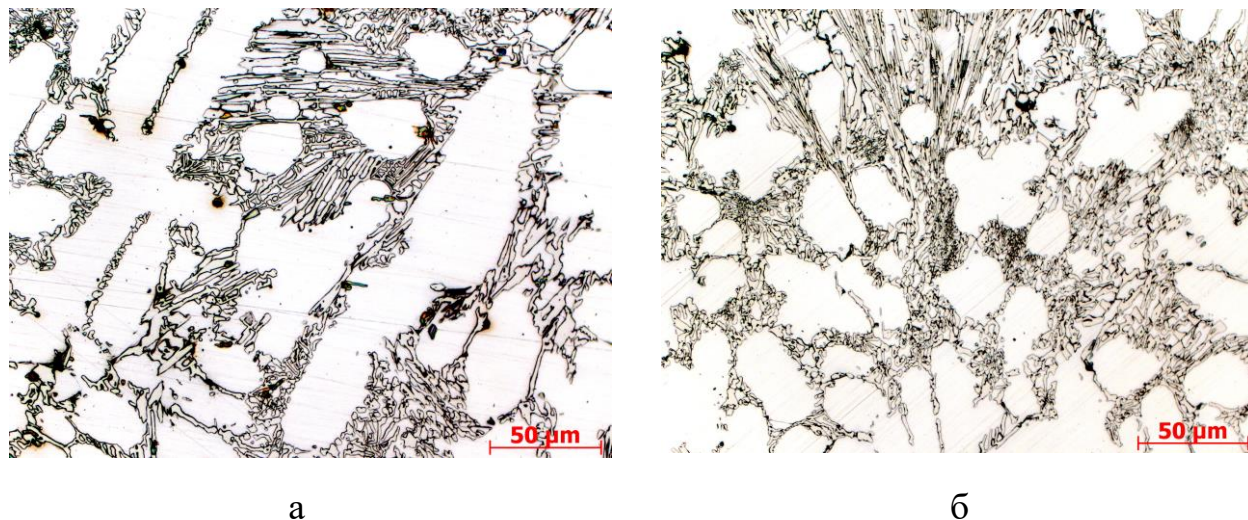


Рисунок 5 – Мікроструктура експериментальних сплавів до (а) та після (б) обробки розплавом модифікатором СРЗМ30

Слід відмітити, що модифікування сприяло збільшенню механічних властивостей дослідних чавунів. За силою впливу на експериментальні сплави модифікатори, які використовували, можна розмістити у такий спадний ряд: СРЗМ30, ФС15РЗМ10Т15М25, КМг9. Визначення механічних властивостей дозволило підтвердити результати, отримані при дослідженні мікроструктури: комплексний модифікатор СРЗМ30 надав максимальний вплив на механічні властивості сплаву, що досліджували. Так, межа міцності на розрив зросла на 20% (з 458 Н/мм² в вихідному сплаві до 547 Н/мм² в модифікованому), межа міцності на вигин – на 16% (з 1005 до 1168 Н/мм²), ударна в'язкість на 32 % (з 57 до 75 кДж/м²) і твердість з 55 до 57HRC, відповідно. Отриманий результат підтверджує, що підвищення механічних властивостей пов'язано, насамперед, зі зменшенням розміру високотвердих і зносостійких карбідів M_7C_3 , тому твердість змінилася несуттєво на відміну від інших параметрів. Фрактограма поверхні зруйнованого зразка з немодифікованого сплаву свідчила в основному про крихке руйнування, а у модифікованому сплаві тип руйнування був змішаний (рис.6).

У порівнянні зі сплавом ИЧХ28Н2 середнє значення межі міцності при розтягу модифікованих сплавів трьох дослідних серій було на 33% більшим, а середнє значення межі міцності при вигині – більшим на 86%. Модифікований СРЗМ30 сплав мав міцність при розтягу на 48, а міцність при вигині на 98% більшим у порівнянні зі сплавом серійного виробництва ИЧХ28Н2. Твердість модифікованих сплавів також була вищою за сплав ИЧХ28Н2 на 24...46%.

Випробування зносостійкості зразків у гідроабразивному середовищі, свідчать про те, що модифіковані сплави мали на 14-23% більшу зносостійкість, ніж не модифіковані, а модифікований лігатурою СРЗМ30 сплав був ще й на 70% більш зносостійким у порівнянні з серійним марки ИЧХ28Н2.

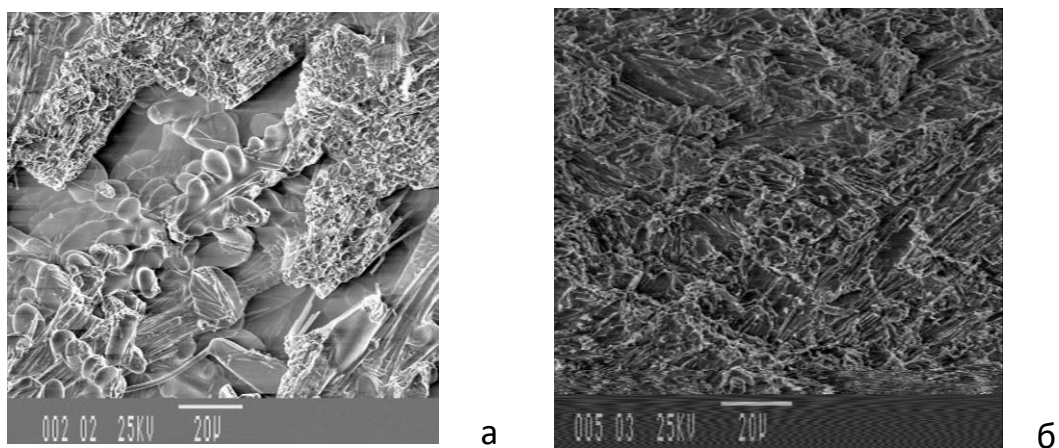


Рисунок 6 – Злам зразка з немодифікованого (а) та модифікованого (б) сплавів після проведення механічних випробувань

За допомогою програми LVMFlow була проаналізована ливарна технологія з метою отримання якісних виливків: були проконтрольовані хід заливання, температурний режим у формі, швидкості заливання, тиск на стінки форми, усадка, а також розраховані переріз, розмір і об'єм надливу, необхідного для живлення виливка. Був доданий відповідно до значень, рекомендованих програмою LVMFlow, кільцевий надлив (рис.7).

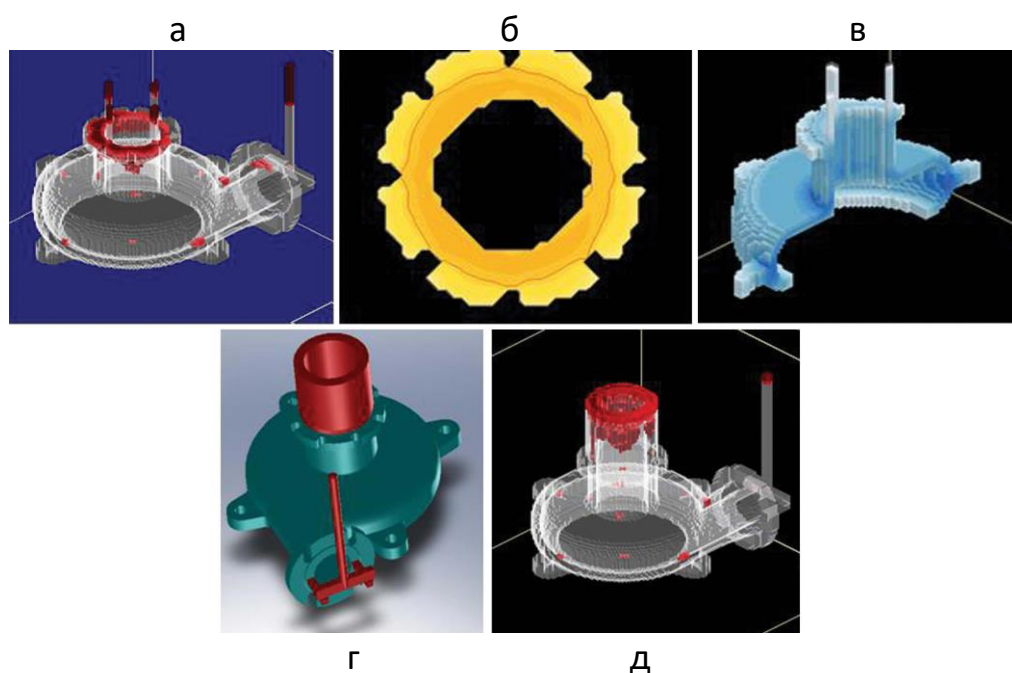


Рисунок 7 – Процес моделювання: а - контроль утворення дефектів; б - визначення теплового модуля за допомогою визначення параметра модуль; в - визначення теплового модуля за допомогою визначення параметра час твердіння; г - модель «Корпус насосу» з доданими елементами ливниково- живлючої системи; д - отриманий результат моделювання

Розроблені у роботі модифікований чавун та технологічний процес виробництва виливків «Корпус насосу» було використано при виробництві дослідної партії. Експлуатаційна стійкість виробів дослідної партії збільшилася на 37% в порівнянні з насосами, виконаними зі сплаву ІЧХ28Н2.

ВИСНОВКИ

Вирішення поставленої мети було досягнуто шляхом аналітичних, теоретичних і експериментальних досліджень із застосуванням фундаментальних положень та сучасних уявлень теорії ливарного виробництва. Головним підсумком роботи є теоретичне узагальнення і нові вирішення наукової задачі з розробки науково обґрунтованого комплексу методів отримання виливків з комплексно модифікованих зносостійких білих чавунів різного ступеня легованості з метою підвищення їх фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

Висновки та рекомендації дисертаційної роботи:

1. Аналіз сучасного стану виробництва виливків зі зносостійких чавунів і відповідної науково-технічної літератури виявив, що яскравими представниками високо навантажених деталей гірничо-збагачувальної і металургійної промисловості, що виготовляються з чавунів різного ступеня легованості є: подрібнювальна куля, двошаровий листопрокатний валок та корпус насосу багеру. Обрані деталі об'єднує те, що вони є швидко зношуваними деталями відповідального технологічного устаткування.

2. Проведені лабораторні та промислові дослідження виплавки комплексно модифікованих зносостійких білих чавунів різного ступеня легованості за результатами визначення структури, фізико-механічних і службових властивостей показало доцільність застосування для модифікування виливків комплексного модифікатора на основі рідкісноземельних металів.

3. Проаналізовані промислові технології виготовлення чавунних подрібнювальних куль литтям в піщану форму і кокіль. Технологічні процеси одержання чавунних подрібнювальних куль мають недоліки, які рекомендовано усунути проведенням лабораторних досліджень за різними варіантами вдосконалення чинного процесу лиття для одержання якісного литва.

4. Проведені лабораторні дослідження дозволили встановити зміни, які відбуваються у виливках з модифікованих рідкісноземельними металами зносостійких чавунів та їх вплив на службові властивості. Отримані результати власних дослідницьких плавок з застосуванням для модифікування виливків комплексних модифікаторів на основі рідкісноземельних металів дозволили вдосконалення хімічні склади та властивості виливків та запатентувати нові склади чавунів для виливків (патенти України на винаходи № 97439 «Чавун», № 98996 «Чавун для прокатних валків» та № 99218 «Чавун зносостійкий»).

5. Визначення найбільш ефективної конструкції кокілю і дослідження процесу кристалізації в ньому дозволило обрати з дев'яти технологічних рішень оптимальну конструкцію кокілю з наявністю радіатору, що істотно зменшувало масу кокілю та його ефективну тепловідвідну здатність. У виробничих умовах

ливарного цеху використання кокілю нової конструкції показало, що він є найефективнішим.

6. На підставі експериментальних досліджень і комп'ютерного моделювання був розроблений вдосконалений технологічний процес кокільного лиття куль, що включає позапічне модифікування розплаву чавуну рідкоземельними металами, вибивання виливків з форм при температурі в інтервалі 650...800°C і охолодження після вибивання на повітрі. Комплексний показник якості виливків, виготовлених за такою технологією, підвищувався на 58...60% в порівнянні з виливками серійного виробництва. Виробничі випробування удосконаленого технологічного процесу виробництва литих куль у багаторазові металеві форми для установки карусельного типу показали поліпшення службових властивостей куль.

7. На підставі експериментальних досліджень і комп'ютерного моделювання був розроблений удосконалений технологічний процес виготовлення двошарових прокатних валків, що включає модифікування розплаву робочого шару чавуну рідкісноземельними металами і термічну обробку литих заготовок. Аналіз структури в різних перерізах бочок валків серійного і експериментального показав, що комплексна обробка призводила до зменшення мікротвердості цементиту, мартенситу і бейніту та 3-4%, тонко диференційованого перліту – на 7% , що було пов'язано з процесами відпуску бейнітно-мартенситної структури матриці, а матеріал робочого шару дослідного валка у порівнянні з серійним мав підвищені механічні властивості: границя міцності при розтягу - на 3-7%, границя міцності при вигині - на 2-3%, а ударна в'язкість- на 4-15%. Твердість робочого шару практично не змінювалася, а термостійкість була на 27% більшою.

8. Проведені лабораторні дослідження дозволили встановити зміни, які відбуваються в дрібних виливках з високолегованого модифікованого рідкоземельними металами чавуну та їх вплив на службові властивості. У порівнянні зі сплавом ИЧХ28Н2 фізико-механічні властивості зразків з модифікованих сплавів трьох дослідних серій були на 24-86% більшими.

9. З серії дослідних промислових плавок, виконаних методом переплавлення, по розплавленню повернення виробництва і продукції, що відпрацювала корисний термін експлуатації та отримана з гірничо-збагачувальних комбінатів, встановлено, що хімічний склад чавуну, усереднено, відповідає наступній марці– ИЧХ290Х16Н(РЗМ). Виробничі випробування розробленого технологічного процесу виробництва корпусів насоса показали підвищення експлуатаційних властивостей матеріалу. Напрацювання насосу НКУ-5 збільшилося на 37%.

10. На підставі виробничих досліджень була розроблена технологічна інструкція на виплавку високохромистого модифікованого комплексним модифікатором зносостійкого чавуну методом переплавки відходів виробництва ИЧХ28Н2 для використання у виробництві ПАТ «Марганецький рудоремонтний завод».

11. В екологічному плані лиття виливків за трьома удосконаленими технологіями позитивно вплине на охорону навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Иванова, Л.Х., Маймур Я.С., Калашнікова А.Ю., та ін. Застосування системного підходу для підвищення службових властивостей чавунних виливків. Системні технології . 2011. №5 (76). С. 173-177.
2. Иванова Л.Х., Колотило Е.В., Калашнікова А.Ю., и др. Особенности обработки чугунов редкоземельными металлами. Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 58. Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2011. С. 295-298.
3. Иванова Л.Х. Колотило Е.В., Калашнікова А.Ю., и др. Термическая обработка чугуновых прокатных валков. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. праць. 2011. № 4(25). С. 87-90.
4. Иванова Л.Х., Хитько А.Ю., Маймур Я.С., Калашнікова А.Ю., и др. Модифицированные половинчатые и серые чугуны. Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 64. Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. С. 319-323.
5. Иванова Л.Х., Калашнікова А.Ю. Повышение качества чугуновых отливок термической обработкой. Проблемы высокотемпературной техники: Сб. науч. трудов. Днепропетровск: «Пороги», 2012. С. 71-76.
6. Иванова Л.Х. Маймур Я.С., Калашнікова А.Ю., та ін. Легувальний комплекс для підвищення ударостійкості чавунних виливків. Теорія і практика металургії. 2012. №5-6. С. 116-117.
7. Калашнікова А.Ю., Иванова Л.Х., Кравцов С.В., и др. Модифицированные износостойкие чугуны для отливок. Теория и практика металлургии. 2013. № 3-4 (92-93). С. 25-28.
8. Иванова Л.Х., Калашнікова А.Ю. Влияние отпуска на структуру и свойства двухслойных прокатных валков. Проблемы высокотемпературной техники. Сб. научн. трудов. Днепропетровск: Пороги, 2013. С. 97-100.
9. Иванова Л.Х., Калашнікова А.Ю., Нестерук С.В. Улучшение качества отливок из хромистого чугуна. Теория и практика металлургии. 2017. № 3-4 (110-111). С. 125-124.

Статті у закордонних виданнях

10. Соценко О.В., Белич А.В., Иванова Л.Х., Калашнікова А.Ю. и др. Разработка технологии литья корпуса насоса из высокохромистого чугуна. Литейное производство. 2013. № 4. С. 30-32.

Патенти України на винахід

11. Чавун: пат. 97439 Україна. № 20101022; заявл. 19.08.2010; опубл. 10.02.2012; Бюл. №10. 2 с.
12. Чавун для прокатних валків: пат. 98996 Україна. № 201010187; заявл. 18.08.2010; опубл. 10.07.2012; Бюл. №13. 3 с.
13. Чавун зносостійкий: пат. № 99218 Україна. № 201106603; заявл. 26.05.2011; опубл. 25.07.2012; Бюл. №14. 4 с.

Матеріали наукових конференцій

14. Калашнікова А.Ю., Іванова Л.Х. Перспективний зносостійкий чавун. *Международный научный журнал Технического университета Аста Universitatis Pontica Euxinus. Стратегия качества в промышленности и образовании: Спец. выпуск. Материалы VII междунар. конф., 3-10 июня 2011 г.: тезисы докл.* Варна, Болгария, 2011. т. 1. С. 101-103.

15. Калашнікова А.Ю., Іванова Л.Х. Розробка складу високоміцного чавуну з високою ударостійкістю. *Литье – 2011: материалы VII междунар. науч.-практ. конф., 21-23 апр. 2011 г.: тезисы докл.* Запорожье: Ред.отдел ЗТТП. 2011. С. 98-100.

16. Калашнікова А.Ю., Іванова Л.Х., Хитько А.Ю. Комплекснолегированный чугун для износостойких отливок. *Литье – 2012: материалы VIII междунар. науч. - практ. конф., 22-25 мая 2012 г.: тезисы докл.* Запорожье: Ред.отдел ЗТТП. 2012. С. 120-121.

17. Калашнікова А.Ю., Белич А.В., Іванова Л.Х. Разработка технологического процесса литья с помощью программ компьютерного инженерного анализа. *Международный научный журнал Технического университета Аста Universitatis Pontica Euxinus. Стратегия качества в промышленности и образовании: Спец. выпуск: Материалы VIII междунар. конф., 2012 г.: тезисы докл.* Варна, Болгария, 2012. т. 2. С. 74-77.

18. Калашнікова А.Ю., Белич А.В., Іванова Л.Х. Разработка технологического процесса литья отливки «корпус насоса» из высокохромистого чугуна. *Неметалеві вкраплення і газу у ливарних сплавах: збірник тез XIII міжнар. наук. - практ. конф. 9-12 жовт. 2012 р.* Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. С. 80-81.

19. Калашнікова А.Ю., Іванова Л.Х., Симоненко В.В. Повышение качества двухслойных прокатных валков. *Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали VI наук. - техн. конф. 20-21 трав. 2014 р.* Київ: НТУУ КПІ, 2014. С. 47-49.

20. Kalashnikova A., Ivanova L. Improving of quality bilayer cast iron mill rolls. *11 міжнародний симпозіум Хорватського метал. тов-ва: «Materijali metalurgija» SHMD'2014 «METALURGIJA. Materials and metallurgy», 22-26 июня 2014 г.: – Summaries of lectures.* Sibenik. 2014. p. 52.

21. Іванова Л.Х., Калашнікова А.Ю., Алексеенко А.С. Литье из модифицированного чугуна. *Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: зб. матеріалів XIII міжнар. наук.-техн. конф. 6-8 жовт. 2014 р.* Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. С. 110-112.

22. Калашнікова А.Ю., Іванова Л.Х., Алексеенко А.С. Мелющие тела из комплексномодифицированного чугуна. *Литье. Металлургия. 2015: материалы XI междунар. науч. - практ. конф., 27-29 мая 2015 г.* Запорожье: Ред. отдел ЗТТП, 2015. С. 122–123.

23. Калашнікова А.Ю., Витер Д.А., Іванова Л.Х. Влияние низкотемпературного отпуска на структуру и свойства материала двухслойных валков. *Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном прои*

зводстве: материалы V междунар. науч.-техн. конф., 21-25 сент. 2015. Краматорск: ДГМА, 2015. С. 89-90.

24. Иванова Л.Х., Калашникова А.Ю., Юрченко Ю.О. Модифицированные хромистые чугуны. Литье. Metallurgy. 2016: Материалы XII междунар. науч. - практ. конф., 24-26 мая 2016 г.: тезисы докл. Запорожье: Ред. отдел ЗТТП, 2016. С. 104–105.

25. Иванова Л.Х., Калашникова А.Ю., Николаенко А.А. Моделирование заливки двухслойного прокатного валка. Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2017: тези доп. IX міжнар. наук. - практ. конф., Дніпро, 28-30 берез. 2017 р. Дніпро: НМетАУ, 2017. С. 36.

АНОТАЦІЯ

Калашнікова А.Ю. Удосконалення технологічних процесів одержання виливків з модифікованих зносостійких чавунів для металургійної та гірничорудної промисловості. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво, Національна металургійна академія України, спеціалізована вчена рада Д 08.084.02, м. Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена удосконаленню технологічних процесів виготовлення виливків з білих зносостійких чавунів різного ступеня легованості, з метою забезпечення підвищених механічних та експлуатаційних властивості виливків.

Виконано аналіз сучасного стану виробництва виливків зі зносостійких чавунів. Встановлено, що яскравими представниками високо навантажених деталей гірської і металургійної промисловості, що виготовляються зі зносостійких чавунів різного ступеня легованості є: подрібнювальна куля, двошаровий листопрокатний валок та корпус насоса багеру. Обрані деталі об'єднує те, що вони є швидко зношуваними деталями відповідального технологічного устаткування. Проведені лабораторні та промислові дослідження виплавки комплексно модифікованих зносостійких білих чавунів різного ступеня легованості за результатами визначення структурних змін та фізико-механічних і службових властивостей показало доцільність застосування для модифікування виливків комплексного модифікатора на основі рідкісноземельних металів. Отримані результати власних дослідницьких плавок з застосуванням для модифікування виливків комплексних модифікаторів на основі рідкоземельних металів дозволили вдосконалити та запатентувати три нових складу чавунів для виливків.

В лабораторних умовах експериментально встановлені та отримані математичні закономірності сумісного впливу основних чинників технологічного процесу на структуру, механічні та експлуатаційні характеристики зносостійких чавунних подрібнювальних куль. Розробка відрізняється комплексним урахуванням впливу технологічних параметрів виробництва таких як матеріал ливарної форми, конструкція ливарної форми, час витримки виливка у формі, те-

температура вибивання, середня охолодження, модифікування розплаву на службові властивості виливків. Отриманий вдосконалений технологічний режим лиття дав можливість виготовити виливки подрібнювальних куль з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Розроблено, досліджено та випробувано в промислових умовах найбільш ефективну конструкцію кокілю з наявністю радіатора та досліджено процес кристалізації в ньому, що істотно зменшувало масу кокілю та його ефективну тепловідвідну здатність.

Розроблено і вперше досліджено в лабораторних умовах термочасові параметри та визначені оптимальні тимчасові рамки між твердінням основного металу, обробленого комплексним модифікатором, і початком процесу промивки двошарового прокатного валка. Розробка відрізняється застосуванням багатошарової диференційованої за температурними зонами САПР моделі. Застосування розробленого процесу комп'ютерного моделювання дозволило удосконалити технологію лиття двошарових прокатних валків в комбіновану ливарну форму методом промивки. Встановлені закономірності комплексного впливу обробки металу робочого шару валка комплексним модифікатором, що містить рідкісноземельні метали, і термічної обробки на структуроутворення і механічні властивості виливків. Розробка відрізняється застосуванням комплексного модифікатора на основі рідкоземельних металів з цілеспрямованим впливом на процес структуроутворення литих двошарових прокатних валків. Це дало можливість підвищити міцність і експлуатаційні характеристики металу робочого шару валка при зниженні витрат легувальних елементів.

Дістало подальшого розвитку комплексне дослідження структури і міцності хромистих чавунів зі зменшеним вмістом легувальних елементів під впливом комплексного модифікування розплавів, що дало можливість одержати сплав з підвищеними міцнісними і експлуатаційними характеристиками без застосування термічної обробки та при зниженні витрат легувальних елементів. Розроблено, досліджено та випробувано в промислових умовах технологічні параметри процесу отримання виливків підвищеної міцності. В екологічному плані застосування модифікування рідкісноземельними металами за трьома вдосконаленими технологіями позитивно вплине на охорону навколишнього середовища.

Ключові слова: лиття, чавун, модифікування, рідкоземельний метал, легування, структура, властивість, виливок

SUMMARY

Kalashnikova A.Yu. Improvement of technological processes of castings obtaining from modified wear-resistant cast irons for the metallurgical and mining industries. – On the rights of manuscript.

Thesis is submitted for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences by specialty 05.16.04 – Foundry, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, 2018.

This thesis is devoted to the improvement of technological processes of casting of white wear-resistant cast irons with different degree of doping to provide increased mechanical and exploitational properties of castings.

Experimentally established and obtained mathematical dependence of the joint influence of the main factors of the technological process on the structure, mechanical and exploitational characteristics of wear-resistant cast iron used for production of grinding bodies. Development is characterized by a comprehensive consideration of the influence of key technological factors of production such as: mold's material, design of the mold, maturing time of casting in the mold, temperature of the casting extraction, the cooling environment, and alloy modification on the exploitational properties of the castings. Developed rational technological process of casting is provided an opportunity to produce castings with increased performance characteristics. Also developed, discovered and verified on the production more efficient design of metal mold which has cooler and has been investigated process of crystallization inside itself, which provided possibility to significantly decrease weight of metal mold and effective thermal conductivity of it.

Temporal and thermal parameters were developed and for the first time investigated under laboratory conditions, and as result defined optimal temporal parameters between the crystallization of main layer of alloy, which has been modified by the modifier contained rare-earth metals (REM), and beginning of the process of bimetallic roll flushing. The development is characterized by using of the high-layered differentiated, according the thermal zones, 3D model. Using of the created approach with computing modelling provided us with the possibility to improve existing technology of bimetallic rolls production in combined molds based on the flushing technology. Also, has been defined the influence of the working layer alloy modifying by the modifier contained REM, and complex using of the heat treatment on the structure formation and mechanical characteristics of the cast-iron alloy. Research is characterized by using of the modifier based on the rare-earth metals with the targeted impacting on the structure formation of the bimetallic rolling rolls. Such complex approach allowed us to provide improvement of strength and exploitational properties of the working layer alloy with simultaneous decrement of alloying materials consuming.

Complex structure and strength research for the of chromium cast iron alloy with lower containing of alloying elements under the influence of modifier has obtained further progressing. It provides possibility to develop cast iron alloy with higher strength and exploitational properties with simultaneous decreasing of alloying materials consuming. Also, please note that developed alloy does not require any additional heat treatment. Technological parameters of higher quality castings production were created, researched and tested under the production conditions. Considering the ecological context, using of modifier contained rare-earth metals according to the improved technological processes has positive affect.

Key words: foundry, cast iron, modification, rare earth metal, doping, structure, property, casting