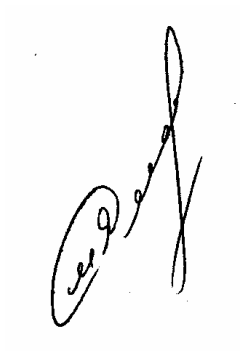


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

ЯМШИНСЬКИЙ МИХАЙЛО МИХАЙЛОВИЧ



УДК 621.745.55

**ЛИВАРНІ ЖАРОСТІЙКІ СТАЛІ ДЛЯ ВИРОБІВ,
ЩО ПРАЦЮЮТЬ В АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ
ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 1250°C**

Спеціальність 05.16.04 – Ливарне виробництво

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2005

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
Федоров Григорій Єгорович.
Доцент кафедри ливарного виробництва
чорних і кольорових металів,
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”

Офіційні опоненти: чл.-кор. НАН України,
доктор технічних наук, професор
Борисов Георгій Павлович.
Фізико-технологічний інститут
металів і сплавів НАНУ.
Завідувач відділу механіки рідких
і твердих сплавів.

Доктор технічних наук, професор
Пономаренко Ольга Іванівна.
Національний технічний університет
„Харківський політехнічний інститут”.
Професор кафедри ливарного виробництва
чорних і кольорових металів

Провідна установа – Національна металургійна академія України,
кафедра ливарного виробництва

Захист відбудеться «19» вересня 2005 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К.26.002.12 у Національному технічному університеті України „Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корпус №9, аудиторія № 203.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут” за адресою: м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «12» серпня 2005 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



Л.М. Сиропоршнев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Сучасні жаростійкі сплави, які використовують для виготовлення деталей паливоспалювальних систем теплових електростанцій, устаткування металургійних, хімічних і машинобудівних підприємств, мають суттєві недоліки: вони вмістять у своєму складі дорогі та дефіцитні елементи (нікель, кобальт, молібден тощо), мало технологічні як ливарний матеріал і не завжди відповідають вимогам щодо експлуатаційних характеристик.

З урахуванням технологічних, експлуатаційних і економічних аспектів такі сплави, як показує практика їх використання, повинні мати високі температури плавлення та окислювостійкість, задовільні ливарні властивості та бути недорогими і недефіцитними.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково – технічної літератури стосовно ливарних жаростійких матеріалів показує, що замінювачами дорогих хромонікелевих сплавів, які найбільш часто використовують в високотемпературних технологіях, можуть бути сталі з хромом та алюмінієм після розроблення теоретичних основ визначення співвідношення цих і інших елементів у їх складі та оптимізації технологічних процесів виплавлення сплавів і виготовлення із них якісних виливків.

На жаль, над вирішенням цих питань не працюють науковці ні за кордоном, ні в Україні. Отже пошук нових жаростійких недорогих та недефіцитних сплавів на основі заліза, які б працювали тривалий час в різних агресивних середовищах при високих температурах, є завданням досить актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота мала зв'язок з темами, які виконувалися в 2000...2005 рр: № 2354 «Розроблення теоретичних принципів управління якістю виливків відповідального призначення із високолегованих сплавів на основі заліза методами спрямованого впливу на метал та форму» (номер держреєстрації 01000U000865), наказ НТУУ «КПІ» від 20.01.2000 р. №2-12 та №2658 «Теоретичні і технологічні основи диференціації властивостей виливка методами композиційного лиття» (номер держреєстрації 01000U000223), наказ Міністерства освіти і науки України від 05.11.2002 р. № 663.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є розроблення нових високоефективних жаростійких сплавів на основі заліза на підставі теоретичних основ легування і модифікування, визначення комплексу їх ливарних, механічних та спеціальних властивостей, удосконалення процесів виплавлення з урахуванням різних технологічних факторів та відпрацювання технологій виготовлення якісних виливків для роботи в умовах агресивних середовищ до 1250°C.

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

1. На підставі теоретичних основ легування і модифікування сплавів визначені ливарні і механічні властивості жаростійких сталей з хромом і алюмінієм в широкому діапазоні концентрацій цих елементів та вуглецю і титану, що дало можливість оптимізувати хімічний склад сталей

для груп виливків залежно від їх геометрії, габаритних розмірів та технологій виготовлення.

2. Досліджено окалиностійкість сталей неоднакового хімічного складу в різних агресивних середовищах і визначено оптимальне співвідношення в них хрому, алюмінію, вуглецю і титану з урахуванням технологічних властивостей сплавів.

3. Вивчено кінетику окиснення жаростійких сталей в умовах різних температур та агресивних середовищ і визначено можливості використання виробів, виготовлених із цих ливарних сплавів в конкретних умовах експлуатації.

4. Досліджено тепло- і електропровідність жаростійких сталей різного хімічного складу і визначено їх поведінку в процесі виготовлення виробів та експлуатації.

5. Установлена доцільність додаткового оброблення жаростійких сталей РЗМ.

6. Вивчено розподіл легувальних елементів у структурі сплавів по перерізу стінки литої деталі. Одержані результати підтвердили перспективність використання сталей з хромом і алюмінієм, як жаростійких ливарних матеріалів, для роботи в умовах високих температур і агресивних середовищ.

7. Розроблені технології виплавлення рекомендованих хромоалюмінієвих сталей в дугових і індукційних електропечах з використанням недорогих і недефіцитних шихтових матеріалів та виготовлення із них якісних виливків різних габаритних розмірів.

8. Проведено виробничі випробовування конкретних виробів, виготовлених із рекомендованих сталей, і доказана доцільність використання їх в промисловості.

Матеріали дисертації відповідають вимогам одержання науково-обґрунтованих теоретичних і практичних результатів, які суттєво доповнюють відомості щодо створення нових ефективних матеріалів.

Об'єкт дослідження: процес розроблення нових жаростійких сталей для виробів, що працюють в умовах агресивних середовищ і високих температур (до 1250°C).

Предмет дослідження: хімічний склад, структура, ливарні, механічні та спеціальні властивості жаростійких сталей.

Методи досліджень: Мета і поставлені в роботі задачі обумовили проведення наукових досліджень з використанням сучасних методів та устаткування для визначення ливарних, механічних та експлуатаційних характеристик сплавів, які несуть у собі достатньо високу достовірність та відтворюваність результатів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше вивчено вплив основних легувальних елементів у широкому діапазоні їх концентрацій – хрому (13...37%), алюмінію (до 7%), вуглецю (0,08...0,81%) і титану (до 1,5%) – на комплекс ливарних, механічних, експлуатаційних властивостей та структуру жаростійких сплавів на основі заліза, що дозволило установити оптимальні межі вмісту цих елементів та рекомендувати

рецептури жаростійких хромоалюмінієвих сталей для виготовлення виливків різних маси, габаритних розмірів і геометрії.

2. Досліджено кінетику окиснення рекомендованих жаростійких сталей в різних агресивних середовищах та при температурі 1250°C, що дозволило розробити теоретичні і практичні передумови до створення жаростійких сплавів на основі заліза.

3. Вивчені в комплексі фізичні та експлуатаційні характеристики хромоалюмінієвих сталей. Одержані результати дали підстави для суттєвого розширення галузей використання литих жаростійких виробів із цих сплавів.

4. Розроблені технології виплавлення хромоалюмінієвих сталей в дугових і індукційних електропечах: визначені послідовність введення легувальних елементів у розплав і оптимальні температури перегрівання металу перед заливанням його у форми залежно від товщини стінок та габаритних розмірів виробів, що суттєво покращило структуру та весь комплекс властивостей жаростійких хромоалюмінієвих сталей.

5. Вперше розроблені параметричні діаграми окалиноостійкості для сплавів такого класу, що дає можливість розрахувати максимальний термін експлуатації виробів у певних умовах, визначити оптимальний хімічний склад сталі та зекономити значну кількість легувальних елементів під час виготовлення жаростійких виробів.

6. Математичним обробленням результатів досліджень визначені рівняння регресії, які дозволяють прогнозувати ливарні і механічні властивості хромоалюмінієвих сталей залежно від хімічного складу металу та його температури перед заливанням у форми без виготовлення технологічних зразків.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі результатів досліджень запропоновані і впроваджені у виробництво хромоалюмінієві сталі для виготовлення деталей відповідального і особливо відповідального призначення, які працюють в агресивних середовищах при температурах до 1250°C. Розроблена технологічна документація та відповідні рекомендації, що забезпечують виготовлення високоякісних виливків різної маси, габаритних розмірів та геометрії.

Виливки проходять експлуатаційні випробовування на Трипільській ТЕС.

Особистий внесок здобувача. Автору належить вдосконалення методик дослідження, визначення комплексу ливарних, механічних і спеціальних властивостей, вивчення структури, оброблення результатів експериментів та їх теоретичний аналіз.

Постановка задач, обговорення результатів досліджень та формулювання основних висновків і рекомендацій виконані спільно з науковим керівником і, частково, із співавторами публікацій.

Математичне оброблення результатів виконано спільно з к.т.н. А.М. Донієм.

Апробація результатів роботи. Основні наукові положення дисертації доповідались і обговорювались на:

- Міжнародній конференції: «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра», Київ, НТУУ «КПІ» ІФФ, 8-9 жовтня 2002 р.;
- першій науково-практичній конференції молодих учених, «Металознавство та обробка металів», Київ, ФТІМС НАН України, 26-28 лютого 2003 р.;
- Международном научно-техническом конгрессе «Литейное производство на рубеже столетий», Киев, ФТІМС НАН України, 2-6 июня 2003 г.;
- V Уральской школе-семинаре металловедов-молодых ученых, посвященной памяти профессора М.И. Гольдштейна, Екатеринбург, УГТУ – УПИ, 17-22 ноября 2003 г.;
- научном семинаре «Литье в песчаные формы» и 4-й международной выставке «Литейное дело», Санкт-Петербург, СПбГПУ, 13-16 марта 2004 г.;
- Международном научно-техническом конгрессе «Литейное производство: высококачественные отливки на основе эффективных технологий», Киев, ФТІМС НАНУ, 2-4 июня 2004 г.;
- Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения выдающегося ученого – литейщика профессора, д.т.н. Б.Б. Гуляева, Санкт-Петербург, СПбГПУ, 22-24 июня 2004 г.;
- VIII-й Международной конференции «Пути повышения качества и экономичности литейных процессов». Одесса, ОГПУ, 10-12 сентября 2004 г.;
- науково-технічній конференції, присвяченій 60-річчю інженерно-фізичного факультету, Київ, НТУУ «КПІ» ІФФ, 14-15 жовтня 2004 р.;
- VI Уральской школе-семинаре металловедов-молодых ученых, Екатеринбург, УГТУ – УПИ, 2-4 ноября 2004 г.
- Международной научно-технической выставке-конференции «Литье. металлообработка», Запорожье, Торгово-промышленная палата, 16-18 марта 2005 г.

Публікації: Основні положення дисертаційної роботи викладено в 7 друкованих працях в фахових журналах та 5 тезах доповідей на наукових конференціях і семінарах.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел із 127 найменувань, 8 додатків. Загальний об'єм дисертації складає 247 сторінок, у тому числі 85 рисунки, 44 таблиць. Основна частина дисертації складає 158 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, наведені основні результати, відзначена їх на-

укова новизна та практичне значення, відзначено особистий внесок здобувача та апробація результатів роботи.

В першому розділі. «Сучасний стан та перспективи використання жаростійких сплавів на основі заліза» проаналізовано науково-технічну літературу щодо сучасного стану промислових жаростійких сплавів. Наведені їх характеристики, переваги та недоліки. Визначені вимоги, які до них пред'являються під час виготовлення виробів і їх експлуатації. Показана можливість оптимізації хімічного складу жаростійких сплавів на підставі теоретичних основ легування і модифікування з метою покращання ливарних та підвищення експлуатаційних характеристик. Розглянуті основні теорії окалиноутворення і визначена можливість використання для роботи в умовах агресивних середовищ і високих температур середньовуглецевих жаростійких сталей з хромом, алюмінієм та титаном.

На підставі критичного аналізу науково-технічної літератури за темою дисертації сформульована мета і основні напрямки досліджень для вирішення поставлених задач.

У другому розділі «Методика дослідження» описані матеріали, устаткування і методи дослідження ливарних, механічних і спеціальних властивостей сплавів на основі заліза.

Виплавлення експериментальних сплавів здійснювали в індукційній печі ІСТ-0,06 з основною футеровкою методом переплавлення з використанням сталевого брухту, звороту власного виробництва та відповідних феросплавів.

Як проба для визначення рідкотекучості сплавів вибрана спіраль трапецієподібного перерізу відповідно ГОСТ 16438 – 70. Рідкотекучість визначали при температурі металу $1580 \pm 10^\circ\text{C}$.

Лінійну усадку визначали за методикою, яка заснована на перетворенні лінійних змін зразка розмірами 200 x 25 x 35 мм при його усадці у пропорційну зміну електричного струму за допомогою потенціометричного датчика лінійних переміщень.

Об'ємну усадку сталей досліджували з використанням методики, яка дозволяє робити диференційований аналіз усадкових явищ у сплаві, тобто дає можливість визначити об'ємну усадку та об'єм раковин і пустот при високій точності об'ємних вимірів.

Для визначення схильності сплавів до утворення тріщин використана вдосконалена циліндрична технологічна проба. Оцінку тріщиностійкості сталей здійснювали за площею тріщини, яка утворюється в термічному вузлі на внутрішній поверхні проби.

Механічні властивості визначали за стандартними методиками.

Металографічні дослідження здійснювали на мікроскопах МІМ – 7, МІМ – 8, NEOFOT – 21 та ДРОН-2,0. Травлення шліфів здійснювали сумішшю азотної і сірчаної кислот у співвідношенні 1 : 3 після підігрівання її до 50...60°C.

Визначення окалиностійкості здійснювали на експериментальному устаткуванні, яке дозволяє витримувати зразки при високих температурах у газовому середовищі заданого складу визна-

чений час. Устаткування змонтоване на базі трубчастої силітової печі, в алундовій трубі якої розташовували човники із зразками досліджуваних сплавів. Склад газового середовища встановлювали залежно від умов експлуатації виробів.

Кінетику окалиностійкості досліджуваних сплавів вивчали ваговим методом за збільшенням маси зразків протягом певного часу. Зміну маси зразків фіксували методом безперервного зважування.

Для визначення теплопровідності та електропровідності сталей розроблена експериментальна установка. При її виготовленні використовували досвід роботи аналогічної установки, описаної Мікрюковим В.Е.

У третьому розділі «Технологічні властивості ливарних жаростійких сталей» представлені основні результати досліджень ливарних і механічних властивостей сталей та їх структури, а також впливу технологічних факторів на процеси виплавлення високолегованих сталей в дугових та індукційних електропечах.

Технологічні властивості жаростійких сталей вивчали за вмістом у них основних легувальних елементів: хрому, алюмінію, вуглецю і титану. Результати досліджень дозволили визначити хімічні склади сталей, які забезпечують найкращий комплекс ливарних і механічних властивостей та структури.

Для визначення оптимального співвідношення хрому і алюмінію, головних хімічних елементів, які надають сплавам високої окалиностійкості, вивчили їх вплив на ливарні і механічні властивості в діапазоні концентрацій від 13 до 35% хрому та до 7% алюмінію. Як базовий сплав використовували вуглецеву сталь з вмістом вуглецю 0,30...0,35%, марганцю – до 0,8% та кремнію – до 0,8%.

Установлено, що підвищення вмісту хрому в сталі сприяє покращанню практичної рідкотекучості через зниження температури ліквідус та зменшення інтервалу кристалізації.

Зміна концентрації алюмінію до 2,0% зберігає практичну рідкотекучість високохромистого сплаву на високому рівні (550...600 мм), проте подальше підвищення вмісту алюмінію дещо знижує рідкотекучість через зміну стану розплаву внаслідок інтенсивного його плівкоутворення.

Хром і алюміній відносять до хімічних елементів, які сприяють збільшенню феритної складової в структурі металу. Хром у дослідженому діапазоні концентрацій змінює лінійну усадку від 2,82 до 1,81%. Алюміній, хоча і меншою мірою, також зменшує лінійну усадку, особливо після додавання його в сплав до 2,0%.

Зниження коефіцієнта термічного стискання, яке обумовлене зростанням феритної складової після підвищення вмісту хрому та додавання оптимальної кількості алюмінію, позитивно впливає на тріщиностійкість досліджених сталей.

Хром і алюміній інтенсивно знижують теплопровідність сталей і цим негативно впливають

на усадкові процеси, які здійснюються в металі: зростає об'ємна усадка в рідкому стані та під час кристалізації від 7,14 до 14,12%, збільшуються об'єми усадкових дефектів від 4,87 до 8,52% та сконцентрованої усадкової раковини від 0,72 до 4,05%.

Сталі з високим вмістом хрому мають невисоку температуру рекристалізації (600...650°C), а тому втрачають міцність уже при нагріванні виробів вище 700°C. Жароміцність таких сталей, перш за все, визначається розмірами зерна та станом міжзернинних прошарків. На жаль, сталі з високим вмістом хрому та алюмінію мають крупнокристалеву будову, яка практично не може бути усунена будь-якими режимами термічного оброблення. Суттєвий негативний вплив на характеристики міцності справляє і різнозернинність структури металу, тобто наявність в металі одночасно крупних і дрібних зерен.

Зміна концентрації хрому в дослідженому діапазоні змінює структуру сталей в литому стані від напівферитного класу (13,8% Cr) до суто феритного (після 25% Cr), при цьому розмір зерна зростає в середньому від 87 до 120 мкм.

Додавання до 2% алюмінію в хромисті сталі сприяє деякому зменшенню різнозернинності металу та покращанню механічних властивостей.

Установлено, що підвищення концентрації хрому в сталі знижує опір металу розриванню всіх досліджених сталей (з 430 МПа при 14% Cr до 244 МПа при 35% Cr). Після додавання в сталі до 2,0% алюмінію міцність їх зростає до 485 МПа, причому необхідна його кількість для підвищення міцності зменшується з ростом в сталі вмісту хрому. Добавка в хромисті сталі до 7,0% алюмінію знижує їх міцність до 160 МПа. Отже кількість алюмінію в хромистій сталі необхідно визначати з урахуванням дії навантаг на виріб під час його експлуатації. Суттєвим недоліком сталей з хромом і алюмінієм є їх низька пластичність, яка не перевищує 1,0%

Підвищення концентрації хрому при вмісті алюмінію до 2,0% дещо збільшує ударну в'язкість, яка взагалі для досліджених сталей не перевищує 0,12 МДж/м².

Із зміною структурних складових після додавання хрому та алюмінію змінюється і твердість металу від 360 до 200 НВ.

Комплексне дослідження ливарних і механічних властивостей та структури жаростійких сталей із хромом та алюмінієм дозволило зробити важливий висновок: для виготовлення високоякісних виливків із цих сталей з урахуванням зазначених характеристик, виробі повинні мати у своєму складі 25...32% хрому та 1,2...3,0% алюмінію.

Взагалі вміст алюмінію в жаростійких сталях визначається тим мінімумом, при якому зберігається їх висока жаростійкість, і тим максимумом, після якого суттєво знижуються ливарні і механічні властивості сплавів.

Суттєвим резервом покращання властивостей хромоалюмінієвих сталей є визначення співвідношення в них вуглецю та титану, елементів, які суттєво впливають на структуру. Досліджено

вплив вуглецю (від 0,08 до 0,8%) і титану (до 1,5%) на структуру і основні технологічні характеристики.

Установлено, що підвищення концентрації вуглецю позитивно впливає на ливарні і механічні властивості. Практична рідкотекучість змінюється від 410 до 630 мм при вмісті до 0,4% вуглецю для сталей з 0,25% титану через зниження температури плавлення, теплопровідності розплаву та збільшення в зв'язку з цим температурного інтервалу рідкого стану.

Додавання до 0,35% титану дещо підвищує практичну рідкотекучість сталей з різним вмістом вуглецю через високу його розкислювальну здатність та зниження температури початку кристалізації розплаву.

Підвищення вмісту вуглецю в сталях значно зменшує лінійну усадку (з 2,20 до 1,85%) внаслідок зменшення температури остаточного тверднення і утворення карбідів з хромом та залізом з коефіцієнтом термічного розширення нижчим, ніж у легованого хромом і алюмінієм фериту.

Невелика кількість титану у хромоалюмінієвій сталі дещо збільшує (від 1,70 до 1,85%) лінійну усадку. У низьковуглецевих сталях максимальне значення усадки досягається після додавання 0,35% титану, у середньовуглецевих – 0,25%, у високовуглецевих – 0,15%. Титан утворює високотемпературні оксиди (1950...2130°C), нітриди – 2950°C та карбіди – 3177°C, які є додатковими центрами кристалізації, а тому вони сприяють прискоренню початку кристалізації сталі та можливості реєстрації усадки на більш ранній стадії, тобто в твердо-рідкому стані після появи металевого каркасу в зразку.

Підвищення концентрації вуглецю в сталях із хромом та алюмінієм сприяє подрібненню первинного зерна та збільшенню довжини меж зерен, внаслідок чого знижується питома навантага на одиницю їх довжини, що підвищує міцність сталі в інтервалі утворення гарячих тріщин і як наслідок – покращує її тріщиностійкість.

Додавання невеликої кількості титану знижує дещо тріщиностійкість сталей через збільшення лінійної усадки. Проте після збільшення концентрації титану понад 0,25% зменшується схильність сталей до утворення гарячих тріщин внаслідок підвищення міцнісних характеристик металу в період можливого утворення тріщин через мікролегування хромоалюмінієвого фериту титаном.

Збільшення вмісту вуглецю від 0,08 до 0,80% підвищує повну об'ємну усадку (з 10,0 до 15,0%) та об'єм усадкових пустот (з 4,5 до 8,5%), суттєво знижує об'єм усадкових раковин, які при вмісті в сталі біля 1,5% титану та 0,8% вуглецю взагалі не утворюються.

Зміна концентрації вуглецю від 0,08 до 0,80% сприяє подрібненню зерна з 180 до 40 мкм, збільшенню кількості і розмірів карбідів, через що покращуються механічні властивості, наприклад, тимчасовий опір розриванню зростає до 467 МПа при 0,4% вуглецю та 0,52% титану, оскільки останній в оптимальних кількостях також сприяє подрібненню структури з 82 до 48 мкм.

Ні вуглець, ні титан у досліджених діапазонах концентрацій суттєвого впливу на ударну в'язкість не справляють. Твердість металу збільшується майже пропорційно зростанню в структурі карбідів різного складу та карбонітридів титану, які мають значно вищу твердість, ніж легований хромом і алюмінієм ферит. Твердість сталі досягає 228 НВ.

За результатами досліджень ливарних і механічних властивостей та структури можна вважати оптимальним вмістом в хромоалюмінієвих сталях вуглецю 0,30...0,40%, а титану – 0,25...0,60%.

Комплексне дослідження впливу хрому, алюмінію, вуглецю та титану на технологічні властивості та структуру жаростійких сталей дозволило рекомендувати як кращий ливарний матеріал для виробництва виливків, що працюють в умовах високих температур, хромоалюмінієві сталі леговані титаном, такого складу, %: С = 0,30...0,40; Cr = 25...32; Al = 1,2...3,0; Ti = 0,25...0,60; Si ≤ 1,0; Mn ≤ 0,8; P ≤ 0,025; S ≤ 0,025.

Досліджено технологічні фактори, що впливають на процеси плавлення і якість розплаву жаростійкої сталі: послідовність введення легувальних елементів у розплав, схильність сталей до плівкоутворення та температурні режими перегрівання металу перед заливанням його у форми з урахуванням теплових ефектів плавлення та розкислення.

Установлено, що найкращого комплексу ливарних та механічних властивостей і структури хромоалюмінієва сталь набуває після глибокого попереднього розкислення за схемою феромарганець → феросиліцій → 0,2% алюмінію. Після такого розкислення в розплав вводиться титан і решта алюмінію. Сталь має максимально гомогенну структуру і високі ливарні та механічні властивості.

Збільшення вмісту хрому в сталі призводить до інтенсифікації процесів плівкоутворення, тому для рекомендованих сталей (25..32% Cr) мінімальною температурою металу перед заливанням його у форму слід вважати 1580°C.

Температура перегрівання розплаву відіграє і позитивну роль (покрщується практична рідкотекучість і сягає 800 мм при 1740°C, зменшується лінійна усадка від 1,82% при 1560°C до 1,35% при 1740°C, а тріщиностійкість при цьому покращується більше, ніж удвічі) і негативну (зростають об'ємна усадка та об'єм дефектів усадкового походження, що вимагає обов'язкового використання надливів, погіршуються механічні властивості внаслідок утворення крупнозерниної структури). Для виготовлення великогабаритних тонкостінних виливків температура металу повинна бути на рівні 1680...1700°C, для невеликих виробів – 1580...1610°C.

Перспективним технологічним заходом для покращання властивостей хромоалюмінієвих сталей і підвищення якості виливків є додаткове оброблення їх рідкісноземельними металами.

Установлено, що присадка до 0,3% РЗМ помітно підвищує практичну рідкотекучість (до 655 мм при 1580°C), змінює форму та морфологію неметалевих вкраплин і покращує на

20...25% механічні властивості.

На підставі аналізу проведених досліджень зроблені такі висновки: для підвищення якості та експлуатаційної надійності литих жаростійких деталей необхідно враховувати:

- хімічний склад сталі залежно від розмірів, геометрії та умов експлуатації;
- технологічні фактори виплавлення сталі з використанням різних шихтових матеріалів;
- температурні режими перегрівання та розливання сталі у ливарні форми;
- фактори, які сприяють одержанню однорідної гомогенної структури металу у виробі;
- можливість і доцільність мікролегування і модифікування сталей тощо.

За результатами проведених досліджень розроблена технологічна інструкція на плавлення та розливання жаростійких хромоалюмінієвих сталей.

З метою експрес-визначення ливарних і механічних властивостей сталей у виробничих умовах (без застосування технологічних проб), безпосередньо після визначення хімічного складу, побудовані рівняння регресії для характеристик за хімічним складом сталі та температурою металу перед заливанням у форми. Розбіжність значень характеристик між отриманими експериментально та розрахованими складає від 3 до 6%.

У четвертому розділі «Спеціальні властивості сталей із хромом і алюмінієм» викладені результати визначення окалиностійкості жаростійких сталей залежно від їх хімічного складу, температур та умов експлуатації виробів, а також дані щодо впливу хімічних елементів на теплопровідність і електропровідність сталей із хромом і алюмінієм. Визначено розподіл основних легувальних елементів по перерізу стінки виробу. На підставі одержаних результатів рекомендовано нові жаростійкі сталі та побудовані для них параметричні діаграми окалиностійкості.

Хром і алюміній є основними легувальними елементами, які забезпечують високу окалиностійкість сталей, тобто надають металу властивості протистояти в умовах високих температур хімічній дії – окисненню в різних газових середовищах. Роль цих елементів полягає, насамперед, у тому, що вони змінюють склад, структуру і властивості окалини, яка утворюється на поверхні виробу, а отже, і швидкість окиснення.

Досліджено окалиностійкість сталей з вмістом хрому від 17 до 35%, алюмінію – до 7% та середнім вмістом вуглецю 0,35...0,40%. Результати досліджень наведені на рис.1.

Аналіз результатів показує, що збільшення вмісту алюмінію в сталі з будь-яким вмістом хрому різко підвищує окалиностійкість (зменшує приріст маси).

Для забезпечення достатньо високої окалиностійкості (збільшення маси на 4...6 мг/см² за 100 год.) сталь повинна вмістити 25...32% хрому і 2...3% алюмінію.

Подальше підвищення алюмінію в цих сталях мало змінює їх окалиностійкість в наведених умовах, але погіршує суттєво ливарні і механічні властивості. Збільшення концентрації алюмінію

можна рекомендувати тільки для підвищення робочої температури та під час виготовлення виливків простої конфігурації.

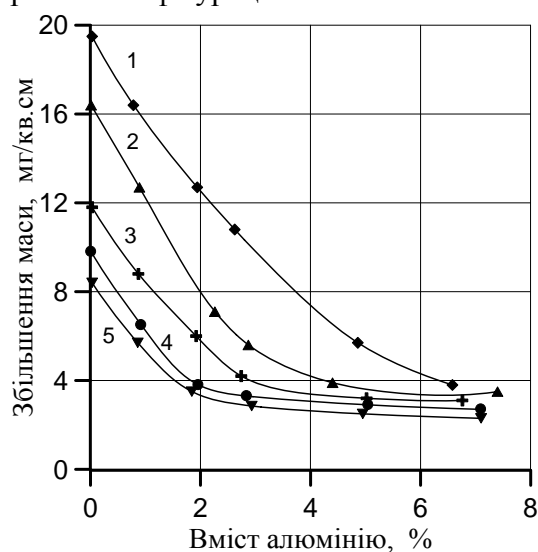


Рис. 1. Окалиностійкість хромистих сталей в атмосфері повітря залежно від вмісту в них алюмінію (температура випробування – 1200°C, тривалість – 100 год): 1 – 17% Cr; 2 – 22% Cr; 3 – 25% Cr; 4 – 29% Cr; 5 – 35% Cr

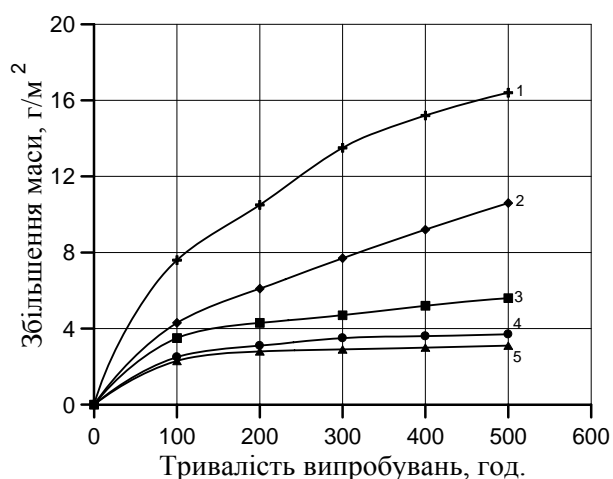


Рис.2. Кінетичні криві окиснення хромистої сталі 35X30Л залежно від вмісту в ній алюмінію: 1 – 0,92% Al; 2 – 1,96% Al; 3 – 2,84% Al; 4 – 5,05% Al; 5 – 7,10% Al

Рентгенографічним і мікрохімічним аналізами окалини, яка утворюється на поверхні виробу із сталі 25% Cr та 3% Al, встановлено, що вона складається, переважно, із оксидів Cr_2O_3 , $\alpha-Al_2O_3$ та шпінелі $(Cr, Al)_3O_4$, а окалина на виробих із сталі, до складу якої входять біля 30% хрому та 2...3% алюмінію, складається на 95...97% з оксидів $\alpha-Al_2O_3$. На внутрішній поверхні окалини, тобто на межі розділу «метал-оксид», виявлено підвищений вміст оксиду Cr_2O_3 та до 1,0...1,5% оксидів заліза. Така оксидна плівка має високі захисні властивості через низьку іонну провідність $\alpha-Al_2O_3$, а тому виробу тривалий час можуть працювати при температурах до 1250°C.

Дослідженнями кінетики окиснення сталі 35X30Л (рис.2) встановлено, що підвищення в ній до 3% алюмінію призводить до різкого зниження швидкості окиснення металу.

Проте із збільшенням тривалості випробувань окалиностійкість сталі з 0,92% Al менша у порівнянні з окалиностійкістю таких же сталей з 1,96 або 2,84% Al, що пояснюється підвищеною швидкістю окиснення металу при порівняно невеликих концентраціях алюмінію через недостатню його кількість в твердому розчині і більш повільну дифузію до поверхні виробу в процесі його експлуатації та утворення не суцільної плівки. Отже для тривалої експлуатації виробів в сталі повинно бути 1,5...3,0% алюмінію.

Визначена окалиностійкість жаростійких сталей, як основна їх експлуатаційна характеристика, в різних агресивних середовищах, рис.3.

Установлено, що із збільшенням вмісту алюмінію окалиностійкість хромистої сталі зростає в усіх агресивних середовищах, особливо після підвищення концентрації алюмінію до 3,0%.

Визначено, що незважаючи на те, що процеси взаємодії елементів сталі з окиснювальними середовищами різні, склад і структура оксидних плівок практично однакові. Вміст оксидів заліза в окалині, утвореній в середовищі водяної пари, збільшується тільки на 1,0...1,5%. Окалина складається на 90...95% з α - Al_2O_3 . Найбільш агресивним середовищем є вологе повітря (рис.3, кр.4).

Визначена окалиностійкість хромоалюмінієвої сталі Х30Ю2Л залежно від вмісту в ній вуглецю і титану (рис.4).

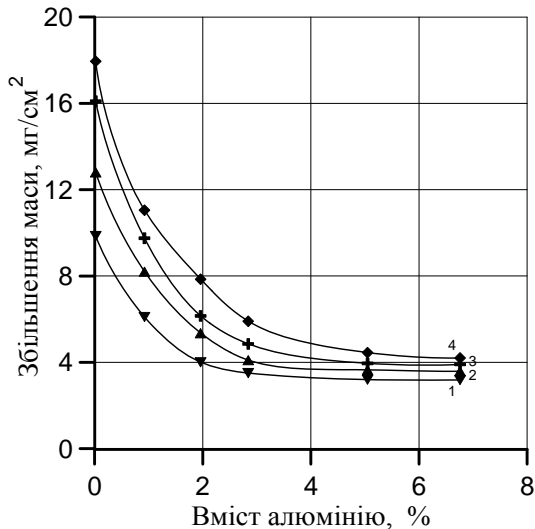


Рис.3. Окалиностійкість хромистої сталі 35Х30Л залежно від вмісту в ній алюмінію в середовищах: 1 – повітря; 2 – повітря + 25% H₂O; 3 – повітря + 45% CO₂; 4 – повітря + 45% H₂O (температура випробовування – 1200°C, тривалість – 100 год)

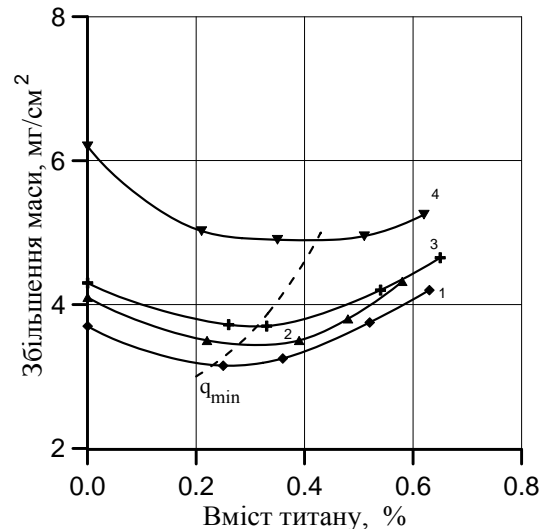


Рис.4. Зміна окалиностійкості хромоалюмінієвої сталі Х30Ю2Л залежно від вмісту в ній вуглецю і титану: 1 – 0,08% С; 2 – 0,15% С; 3 – 0,40% С; 4 – 0,81% С (температура випробовування – 1200°C, тривалість – 100 год):

Установлено, що із збільшенням вмісту вуглецю в хромоалюмінієвій сталі її окалиностійкість знижується, тобто маса зразка збільшується від 3,7 до 6,2 мг/см². Додавання в сталь з будь-яким вмістом вуглецю оптимальних добавок титану покращує окалиностійкість через вивільнення частини хрому, яка не витрачається на карбідоутворення, а утворює захисну плівку. Утворення окалини здійснюється і за участю оксидів титану. Легування сталі титаном знижує дифузійну рухомість заліза у фериті і зменшує кількість його оксидів в окалині.

Мікροхімічним аналізом оксидних плівок підтверджено, що при вмісті в сталі 0,25% титану в окалині виявлено 0,5...0,6% оксидів титану, а вміст оксидів заліза зменшився від 2,35...2,60 до 1,60...1,75%.

Отже оптимальний вміст титану, який забезпечує максимальну жаростійкість хромоалюмінієвих сталей, залежить від концентрації вуглецю і визначається із співвідношення:

$$\% \text{Ti} = (1,3 \dots 1,5) \cdot \% \text{C}$$

Оскільки РЗМ суттєво покращують ливарні і механічні властивості хромоалюмінієвих сталей, вивчено їх вплив на окалиностійкість сталі 35Х30Ю2ТЛ. Установлено, що присадка РЗМ до 0,20...0,30% (остаточний вміст біля 0,1%) практично не впливає на окалиностійкість сталі, проте в умовах теплозмін, окалина, що утворилася на поверхні виробу за участю РЗМ, має краще зчеплення з металом і гальмує процеси її сколювання.

Серед фізичних властивостей жаростійких сталей провідне місце посідають теплопровідність і електропровідність.

Теплопровідність справляє вирішальний вплив на умови одержання якісних виливків, режими термічного оброблення литих деталей та їх експлуатацію в умовах високих температур та теплозмін. Електричні властивості дуже важливі під час експлуатації литих елементів як нагрівачів та електроплавлення сталі.

Досліджено зміну теплопровідності і електропровідності жаростійких сталей залежно від вмісту в них хрому та алюмінію, рис.5.

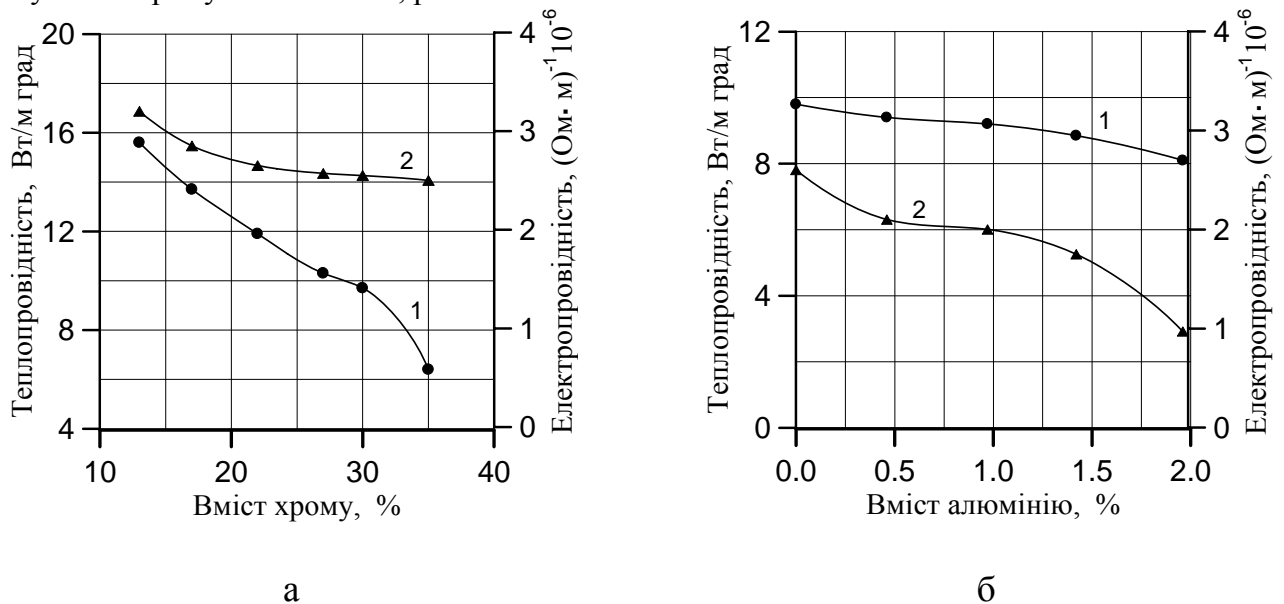


Рис.5. Теплопровідність (1) та електропровідність (2) жаростійких сталей залежно від вмісту в них хрому (а) і алюмінію (б)

Відомо, що в металі теплопровідність здійснюється електронами і коливаннями атомів кристалічної ґратки, а електропровідність металу характеризується процесом переносу електричного заряду електронами і визначається щільністю електронів провідності та швидкістю їх дрейфу.

Оскільки легування заліза хромом і алюмінієм призводить до спотворення кристалічної ґратки, зміни структурних складових, порушення однорідності металу, до розсіювання електронів, то підвищення концентрації легувальних елементів супроводжується зниженням теплопровідності і електропровідності. Отже зміну цих характеристик треба враховувати в технологічних процесах ви-

готовлення виливків. Для виготовлення нагрівачів литих реостатів та інших виробів необхідно використовувати сталі з вмістом 30...35% хрому та не менше 3...5% алюмінію.

Дослідженнями впливу титану і РЗМ на фізичні властивості хромоалюмінієвої сталі 35Х30Ю2Л встановлено, що ці елементи, хоча і меншою мірою, ніж хром та алюміній, але знижують теплопровідність і електропровідність, що добре погоджується з літературними даними щодо впливу цих елементів на фізичні характеристики заліза.

Аналіз результатів дослідження ливарних, механічних і спеціальних властивостей та структури жаростійких сталей з хромом і алюмінієм дозволив запропонувати як ливарний матеріал для виготовлення тонкостінних великогабаритних литих деталей сталь 35Х30Ю2ТЛ, а для виготовлення простих за конфігурацією виливків – сталь 30Х24Ю3ТЛ. Хімічний склад рекомендованих сталей наведено в табл.1, а порівняльна характеристика окислювостійкості різних сталей – в табл.2.

Таблиця 1

Хімічний склад рекомендованих жаростійких сталей із хромом і алюмінієм

Інд. поз.	Марка сталі	Хімічний склад, % мас.								
		C	Cr	Al	Si	Mn	Ti	РЗМ (за присадкою)	P	S
1	35Х30Ю2ТЛ	0,30... 0,40	28... 32	1,5... 2,2	0,1 VI	0,8 VI	0,2... 0,4	0,15... 0,25	0,025	0,025
2	30Х24Ю3ТЛ	0,25... 0,35	23... 25	2,5... 3,2			0,3... 0,6	0,20... 0,25		

Таблиця 2

Окислювостійкість жаростійких сталей

Інд. поз.	Марка сталі	Окислювостійкість при 1200°C за ГОСТ 6130-71, г/м ² ·год.
1	15Х23Н18Л	4,5...4,8
2	25Х25Н19С2Л	3,0...4,5
3	10Х25Ю5Л	0,4...0,5
4	35Х30Ю2ТЛ	0,6...0,7
5	30Х24Ю3ТЛ	0,5...0,6

В умовах ливарного інституту Фрайбергської гірничої академії (Німеччина) з використанням мікроаналізатора JXA-8900 виконаний вибірковий дисперсійний аналіз розподілу елементів в зразках діаметром 20 мм із сталі 35Х30Ю2ТЛ. Встановлено, що найбільш схильним до ліквідаційних процесів є титан та вуглець. Це добре узгоджується з літературними даними. Концентрації основних елементів – хрому і алюмінію – залишаються практично без змін по перерізу зразків. Отже в умовах високих температур та агресивних середовищ ці елементи активно захищатимуть тривалий час метал виробу від окиснення.

Розподіл елементів по перерізу виливків, виготовлених із сталі 30Х24Ю3ТЛ, вивчали на установці РЕММА-102. Аналіз результатів показав, що сталь, незалежно від товщини стінки виро-

бу, має максимально гомогенну однорідну структуру як усередині зерен так і на їх периферії.

Результати таких досліджень підтверджують перспективність використання хромоалюмінієвих жаростійких сталей для виготовлення литих деталей, які працюють в умовах високих (до 1250°C) температур та агресивних середовищ.

В роботі зроблена спроба оптимізувати хімічний склад хромоалюмінієвих сталей залежно від температурних умов експлуатації литих деталей. Зрозуміло, що оптимальним був би такий варіант, при якому співпадали б термін експлуатації жаростійких деталей з міжремонтним періодом устаткування.

Одним із способів зменшення витрат часу, праці і засобів для одержання необхідної інформації щодо корозії металів в умовах високих температур є використання параметричного методу оброблення результатів випробувань.

За відомою методикою з використанням результатів випробувань побудовані параметричні діаграми жаростійкості для обох рекомендованих марок хромоалюмінієвих сталей, рис.6.

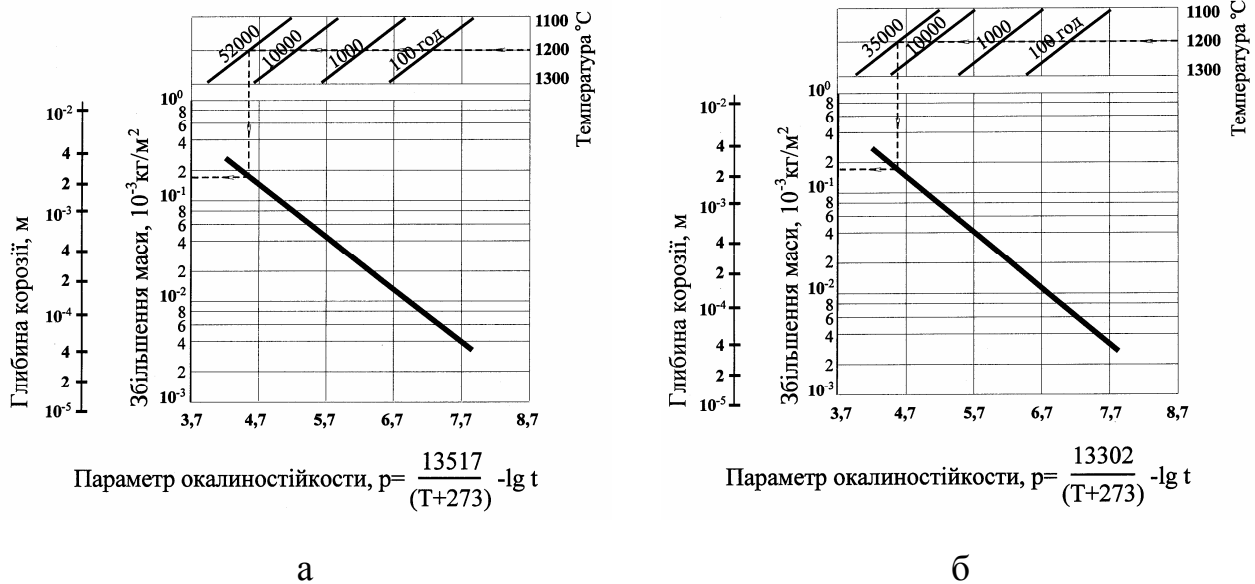


Рис.6. Параметричні діаграми жаростійкості сталі 35X30Ю2ТЛ (а) і 30X24Ю3ТЛ (б)

Аналіз діаграм дозволяє зробити висновок, що для досягнення однієї і тієї ж критичної глибини корозії, яка в виробничих умовах досягає 2,5 мм за 52000 год. роботи, наприклад котлоагрегатів ТЕС, не обов'язково використовувати сталь 35X30Ю2ТЛ. Оскільки міжремонтний період роботи котлоагрегатів складає приблизно 35000 год., то для виготовлення литих деталей паливоспалювальних пристроїв доцільно використовувати сталь 30X24Ю3Л, яка є дешевшою через менший вміст відносно дорогого хрому.

Оскільки жаростійкі деталі паливоспалювальних пристроїв котлоагрегатів не працюють безперервно в умовах максимальних температур протягом всього терміну експлуатації, то в цьому випадку має місце приблизно 15%-й запас експлуатаційного часу.

У п'ятому розділі «Дослідно – промислове виробництво і експлуатаційні випробовування виливків із хромоалюмінієвих сталей» викладені результати аналізу роботи паливоспалювальних пристроїв котлоагрегатів Трипільської ТЕС, розроблені та апробовані в лабораторних і виробничих умовах технологічні процеси виготовлення насадок пальників та наконечників газових пальників для паливоспалювальних пристроїв котлоагрегатів ТЕС. За рекомендованими технологіями плавлення жаростійких сталей та ливарної форми в ливарному цеху СО «Електроремонт» системи «Донбасенерго» із сталі 35Х30Ю2ТЛ виготовлена партія насадок пальників діаметром 670 мм та висотою 420 мм в кількості 25 шт для Трипільської ТЕС, а в лабораторних умовах для цієї ж ТЕС із сталі 30Х24Ю3ТЛ виготовлена партія наконечників газових пальників двох типорозмірів в кількості 1000 шт.

В теперішній час здійснюється апробація виробів на Трипільській ТЕС.

В розділі наведено розраховування економічної ефективності використання жаростійких хромоалюмінієвих сталей 35Х30Ю2ТЛ та 30Х24Ю3ТЛ замість прокату із сталей 25Х25Н19С2 та 15Х23Н18 для виготовлення деталей, що працюють в умовах агресивних середовищ та високих температур.

Розрахунки виконані з урахуванням вартості матеріалів і продукції на 01 березня 2005 р.

ВИСНОВКИ

1. Розроблені і удосконалені методики визначення ливарних, механічних і спеціальних властивостей жаростійких сталей, які забезпечують високі відтворюваність та достовірність результатів.

2. Вивчено технологічні властивості і структури жаростійких сталей різного хімічного складу і встановлено оптимальні межі основних елементів (Cr, Al, C, Ti) у цих сталях.

Показано, що найкращий комплекс ливарних і механічних властивостей мають сталі з вмістом 25...32 % Cr; 1,2...3,0% Al; 0,30...0,40% C; 0,3...0,6% Ti.

3. Досліджено вплив технологічних факторів на процеси плавлення сталей та виготовлення із них якісних виливків різних габаритних розмірів та геометрії.

Установлено, що найкращих ливарних і механічних властивостей сталі набувають після оптимальних температур перегрівання металу та послідовності введення в розплав легувальних елементів. Заливання форм доцільно здійснювати при температурах 1600...1650°C. Перед вводом у розплав легувальних елементів з високою спорідненістю до кисню, його необхідно розкиснювати за схемою феромарганець → феросиліцій → 0,2% Al. Для покращання характеристик сталей установлена доцільність мікролегування їх 0,25...0,50% РЗМ.

4. Вивчено вплив хрому, алюмінію, титану, вуглецю та РЗМ на комплекс спеціальних властивостей сталей. Установлено, що сталі рекомендованого хімічного складу мають окалинос-

тійкість в 5...7 разів вищу, ніж хромонікелеві, внаслідок утворення на поверхні виробів захисної плівки, яка складається переважно із оксидів α - Al_2O_3 , Cr_2O_3 та шпінелі $(\text{Cr}, \text{Al})_3\text{O}_4$.

5. Досліджено кінетику окиснення жаростійких сталей різного хімічного складу в умовах високих температур і агресивних середовищ.

Установлено, що інтенсивне окиснення поверхні виробів має місце протягом перших 1,5...2,5 год їх експлуатації, а найбільш агресивним середовищем є перегріта водяна пара.

6. Визначені основні фізичні характеристики жаростійких сталей – тепло- і електропровідність. Одержані результати дають підстави для розширення галузей використання хромоалюмінієвих сталей.

7. Досліджено структуру жаростійких сталей і встановлено її вплив на механічні і експлуатаційні властивості.

Розподіл легувальних елементів по товщині стінок виробів визначає перспективність використання хромоалюмінієвих сталей для виготовлення жаростійких виробів.

8. Розроблені технології виплавлення рекомендованих сталей та виготовлення із них виливків різних габаритних розмірів і геометрії.

9. Проведені промислові випробовування технологій в умовах СО «Електроремонт» системи «Донбасенерго» та Трипільської ТЕС. Показано, що рекомендовані сталі мають високі технологічні і експлуатаційні характеристики. Економічний ефект від заміни прокату хромонікелевої сталі 25X25H19C2 на ливарну хромоалюмінієву 35X30Ю2ТЛ складає 31974 грн. на 1 тону продукції, а від заміни прокату сталі 15X23H18 на хромоалюмінієву сталь 30X24Ю3ТЛ – 26770 грн. на 1 тону продукції.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНО В ТАКИХ ПРАЦЯХ

1. Ямшинський М.М. Вдосконалення технології виплавлення жаростійких сплавів // *Металознавство та обробка металів*. – 2003. – № 1. – С. 42...43.

2. Ямшинський М.М., Г.Є. Федоров, Є.О. Платонов Спеціальні властивості ливарних хромоалюмінієвих сталей // *Металознавство та обробка металів*. – 2004. – № 3. – С. 14...19.

Здобувачем досліджено окалиностійкість сталей залежно від вмісту в них хрому, алюмінію та агресивних середовищ.

3. Ямшинский М.М., Г.Є. Федоров, Є.О. Платонов Эксплуатационные свойства литейных хромоалюминиевых сталей // *Литейное производство*. – 2004. – № 9. – С. 11...14.

Здобувачем досліджено теплопровідність та електропровідність жаростійких сталей залежно від вмісту в них хрому та алюмінію.

4. Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Методи підвищення якості литих жаростійких деталей // *Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ»*. – 2004. – №4. – С. 98...104.

Здобувачем досліджено вплив температури перегрівання металу перед заливанням його у ливарні форми та РЗМ на ливарні і механічні властивості жаростійкої сталі.

5. Ямшинський М.М., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. Оптимізація хімічного складу жаростійких хромоалюмінієвих сталей в залежності від умов експлуатації литих деталей // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2004. – №5 – С. 68...74.

Здобувачем побудовані математичні моделі визначення окалиностійкості сталей залежно від їх хімічного складу. На основі моделей розраховані параметричні діаграми окалиностійкості рекомендованих сталей.

6. Ямшинський М.М., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. Сучасні технологічні аспекти виготовлення виливків із диференційованими властивостями поверхні // Наукові вісті Національного технічного університету «КПІ». – 2004. – №6 – С. 69...75.

Здобувач розробляв технологію виготовлення біметалевих жаростійких виливків

7. М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров, Е.А. Платонов Изготовление отливок с дифференцированными свойствами поверхности // Металл и литье Украины. – 2004. – №12 – С. 22...25.

Здобувачем розроблено технологію виготовлення біметалевих жаростійких виливків поверхневим легуванням.

8. М.М. Ямшинський. Вдосконалення технології виплавлення та розливання жаростійких хромоалюмінієвих сталей //Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра,, – Київ, «Політехніка». – 2002 – С. 142...149.

9. Г.Е. Федоров, Е.А. Платонов, А.Е. Кузьменко, М.М. Ямшинский. Влияние структуры на свойства жаростойких хромоалюминиевых сталей // Матеріали Международного научно-технического конгресса "Литейное производство на рубеже столетий,, – Киев, ФТИМС НАНУ. – 2003 – С. 72...74.

Здобувачем виконано механічні випробовування та досліджено структуру хромоалюмінієвих сталей.

10. М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров. Особенности изготовления отливок с дифференцированными свойствами поверхности // Литейное производство сегодня и завтра. Тезисы докладов. – Санкт–Петербург, Изд-во. СПбГПУ. – 2004 – С. 57...59.

Здобувачем виготовлені біметалеві жаростійкі виливки поверхневим легуванням з урахуванням технологічних особливостей сплаву та легувальних покриттів.

11. М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров, Е.А. Платонов, А.Е. Кузьменко. Технологические аспекты изготовления отливок с дифференцированными свойствами поверхности // Матеріали Международного научно-технического конгресса "Литейное производство: высококачественные отливки на основе эффективных технологий,, – Киев, ФТИМС НАНУ. – 2004 – С. 69...71.

Здобувачем виготовлені реальні біметалеві жаростійкі виливки поверхневим легуванням та вдосконалено технологію їх виготовлення.

12. М.М. Ямшинский Изготовление отливок с дифференцированными свойствами поверхности // VI уральская школа-семинар металлословов – молодых ученых. Сборник тезисов – Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ. – 2004 – С. 27.

АНОТАЦІЯ

Ямшинський М.М. Ливарні жаростійкі сталі для виробів, що працюють в агресивних середовищах при температурах до 1250°C. Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, Київ, 2005 р.

Досліджено комплекс ливарних, механічних та спеціальних властивостей і структуру жаростійких сталей і визначено оптимальний вміст в них хрому, алюмінію, вуглецю і титану, що забезпечує найкраще поєднання технологічних і експлуатаційних характеристик.

Для виготовлення жаростійких виробів сталі повинні вмістити в своєму складі 25...32% Cr; 1,2...3,0% Al; 0,30...0,40% C; 0,3...0,6% Ti та 0,15...0,25% PЗМ.

Кращі властивості хромоалюмінієві сталі мають коли вони на фініші плавлення опрацьовані за схемою: феромарганець +феросиліцій +0,2% алюмінію +титан +залишковий алюміній +PЗМ.

Відпрацьовано температурні режими розливання хромоалюмінієвих сталей залежно від габаритних розмірів та геометрії виливків. Для тонкостінних виливків великих розмірів температура заливання повинна становити 1680...1720°C, а для товстостінних – 1600...1650°C.

Рентгенографічними та структурними дослідженнями встановлено, що розподіл легувальних елементів по перерізу стінок виробів є рівномірним, що забезпечує тривалу їх експлуатацію в умовах високих температур.

Розроблені технології плавлення рекомендованих сталей та виготовлення із них виливків різних габаритних розмірів і призначення. Технології пройшли апробацію у виробничих умовах і показали перспективність використання хромоалюмінієвих сталей для виготовлення жаростійких литих деталей.

Ключові слова: сталь, виливок, окалиностійкість, властивість, структура, температура.

АННОТАЦИЯ

Ямшинский М.М. Литейные жаростойкие стали для изделий, работающих в агрессивных средах при температурах до 1250°C. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство. – Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт”, Киев, 2005 г.

Исследован комплекс литейных и механических свойств жаростойких сталей с хромом и алюминием, что позволило установить оптимальное соотношение этих элементов в зависимости от габаритных размеров и конфигурации отливок.

Исследовано влияние последовательности ввода легирующих элементов в расплав на свойства хромоалюминиевой стали. Установлено, что сталь, которая обработана по схеме: ферромарганец + ферросилиций + 0,2% алюминия + титан + остаточный алюминий, имеет наилучшие литейные, механические и специальные свойства вследствие однородной гомогенной структуры.

Определены температурные режимы плавки и разливки хромоалюминиевых сталей, что позволяет корректировать их в зависимости от габаритов и геометрии отливок. Установлено, что для тонкостенных крупногабаритных отливок температура заливки должна составлять 1680...1720°C, а для толстостенных – 1600...1650°C.

Изучено влияние легирующих элементов на окалиностойкость сталей и определено оптимальное содержание в них хрома, алюминия, углерода и титана: 25...32%, 1,2...3,0%, 0,30...0,40% 0,3...0,6% соответственно. Установлено, что РЗМ в количестве до 0,3% практически не влияют на окалиностойкость, но повышают сцепление защитной пленки с поверхностью изделия.

С целью расширения области использования хромоалюминиевых сталей исследовано влияние основных легирующих элементов на тепло- и электропроводность, что позволило рекомендовать стали для изготовления литых деталей в электротехнической и химической отраслях.

Рентгенографическими и структурными исследованиями установлено, что распределение основных легирующих элементов по толщине стенки изделия равномерное. Это обеспечивает длительную эксплуатацию изделий в агрессивных средах при температурах до 1250°C. Обработка результатов исследований при помощи ЭВМ позволила построить уравнения регрессии для литейных и механических свойств рекомендованных сталей. Эти уравнения позволяют прогнозировать свойства хромоалюминиевых сталей без использования технологических проб, что существенно сокращаем время технологического процесса изготовления отливок.

Ключевые слова: сталь, отливка, окалиностойкость, свойства, структура, температура.

ABSTRACT

Yamshinskiy M.M. The casting heat-resistant became for details which work in hostile environment at temperatures to 1250°C. Manuscript. Dissertation on competition of scientific degree of candidate of engineering sciences on special 05.16.04 is Casting production of black and coloured metals. it is the National technical university of Ukraine „Kiev polytechnic institute”, Kiev, 2005.

The complex of casting, mechanical and special properties and structure of heat-resistant is explored steel and optimum maintenance in them is certain to the chrome, aluminium, carbon and titan, that provides the best combination of technological and operating descriptions.

For making of heat-resistant wares of steel must contain in the composition 25...32% Cr; 1,2...3,0% Al; 0,30...0,40% C; 0,3...0,6% Ti and 0,15...0,25% RZM.

The best properties of chromealuminium steel have when they on the finish of melting are worked after a chart: ferromarganets + ferrosylytsyy +0,2% aluminium + titan + remaining aluminium +REM.

The temperature conditions of pouring of chromealuminium steel are worked depending on overall sizes and geometry of foundings. For the thin-walled foundings of largenesses the temperature of inundation must make 1680...1720°C, and for thick-walled – 1600...1650°C.

It is set by sciagraphy and structural researches, that distributing of alloying elements on the cut of walls of wares is even, that provides protracted their exploitation in the conditions of high temperatures.

Developed technologies of melting of recommended steel and making from them of foundings of different overall sizes and setting. Technologies passed approbation in production terms and showed perspective of the use of chromealuminium steel for making of the heat-resistant poured details.

Keywords: steel, founding, resistance, property, structure, temperature.