

Національна академія наук України
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

Радченко Олександр Олексійович

УДК 621.74.041:621.745

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ
ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛО-ГАЗОВОГО
РЕЖИМУ ЛИТтя У СИРУ ФОРМУ**

Спеціальність 05.16.04 – Ливарне виробництво

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті
"Харківський політехнічний інститут" на кафедрі ливарного виробництва.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор Пономаренко Ольга Іванівна,
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор
кафедри ливарного виробництва

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Дорошенко Степан Пантелійович, Національний технічний
університет України "Київський політехнічний інститут", професор кафедри "Ливарне
виробництво чорних і кольорових металів";

доктор технічних наук, професор Становський Олександр Леонідович, Одеський
національний політехнічний університет, завідувач кафедрою "Нафтогазове і хімічне
машинобудування".

Провідна установа

Державне підприємство "Завод ім. Малишева", м. Харків.

Захист відбудеться "15" травня 2002 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради

Д 26.232.01 Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України за адресою: 03680, м. Київ-142, пр. Вернадського, 34/1.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України за адресою: 03680, м. Київ-142, пр. Вернадського, 34/1.

Автореферат розісланий "11" квітня 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.232.01

доктор технічних наук, професор

Чорновол А.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення якості та конкурентноздатності виливків, що випускаються в Україні, є найважливішою задачею науки і практики ливарного виробництва. Лише на основі розв'язання цієї задачі можливе відродження вітчизняного машинобудування. Одним з напрямків удосконалення технології лиття у піщані формі є розробка методів попередження появи у виливках дефектів, у тому числі газового походження. Кількість виливків відповідального призначення, забракованих через наявність у них газових раковин і ситоподібної пористості, в умовах масового виробництва сталевих литва досягає 30% від загальної кількості бракованих виливків.

Базові результати в цій галузі були одержані, головним чином, щодо виготовлення виливків з сірого чавуна, кольорових металів і спеціальних видів лиття П.П. Бергом, Я.І. Медведєвим, В.С. Серебро, С.П. Дорошенко та ін. Але стосовно газового режиму ці дослідники приділяли головну увагу тепловим і фізико-хімічним процесам, що відбуваються в ливарній формі.

Багаторічний досвід запобігання утворенню у виливках дефектів газового походження в Україні та в інших країнах світу, довів, що для підвищення її ефективності сформовані до цього часу методи і прийоми необхідно істотно модернізувати на базі системного підходу, який є на сьогодні основною концепцією розв'язання складних наукових і практичних задач. Системний підхід до розв'язання задачі підвищення якості сталевих виливків шляхом удосконалення тепло-газового режиму (ТГР) лиття в сиру піщану форму зводиться до теоретичної розробки і практичної реалізації такого комплексу заходів щодо запобігання утворенню газових дефектів виливків, який враховував би не лише протікання теплових і фізико-хімічних процесів, але й конструктивні чинники, що сприяють поліпшенню вентиляції форми за рахунок створення спрямованого газового потоку з неї, а також чинники металургійного характеру, пов'язані з газонасиченістю і газовиділенням при плавленні, відливанні та твердінні рідкої сталі.

Ця обставина робить розв'язання задачі розробки та реалізації системного підходу до удосконалення тепло-газового режиму піщаної форми з метою підвищення якості й запобігання утворенню газових дефектів у сталевих виливках надзвичайно актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ") в період з 1983 по 2001 р. відповідно до пунктів 01.01. "Розробка нових методів моделювання процесів лиття і систем оптимального керування формуванням виливків і злитків на базі ЕОМ, розробка алгоритмів технологічних процесів", 05.01.01 "Розробка структур алгоритмів і математичних моделей технологічних процесів ливарного виробництва", Координаційного плану НДР наукової ради НАНУ з вирішення наукової проблеми 2.25.1.5 "Розробка теоретичних основ керування процесами формування виливків з використанням

зовнішніх впливів", а також у зв'язку з дослідницькою науково-технічною програмою Держкомітету науки й інтелектуальної власності України "Ресурсозберігаючі технології в металургії" і проекту 4/006 К-95 "Стратегічні напрямки енерго- та ресурсозбереження в металургії і ливарному виробництві" IV пріоритетного напрямку Міністерства науки України "Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології".

Мета і задачі дослідження. Основною метою роботи є підвищення якості й зниження браку сталевих виливків шляхом розробки і реалізації заходів щодо запобігання утворенню дефектів газового походження на основі використання системного підходу і методів математичного моделювання технологічних процесів, які протікають у сирій піщаній формі в умовах автоматизованого автотракторного виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було розв'язати наступні задачі:

- розробити на основі системного підходу принципову схему моделювання процесів, що формують тепло-газовий режим сирової піщаної форми;
- виконати в лабораторних і виробничих умовах експериментальні дослідження динаміки змін температурних полів, газового тиску в сирій піщаній формі, ступеню газонасиченості металу і їхнього впливу на процес утворення дефектів газового походження у виливках;
- розробити математичну модель, пакет прикладних програм (ППП) для числового моделювання температурних полів, зміни вологості й газового тиску системи "стержень – метал – сира піщана форма" на основі використання рівнянь математичної фізики;
- виконати у виробничих умовах дослідження основних параметрів технологічного процесу виготовлення виливок з метою вивчення впливу розроблених методів оптимізації тепло-газового режиму лиття на якість виливок;
- розробити та впровадити заходи з підвищення якості та зниження браку виливків за рахунок оптимізації тепло-газового режиму лиття на основі нових технологічних і конструкторських рішень при виготовленні ливарних форм, а також за рахунок оптимізації і стабілізації параметрів приготування формувальних сумішей і раціонального розкислення рідкої сталі.

Об'єкт дослідження – технологічний процес одержання виливків у піщаних формах з вуглецевої та високомарганцевистої сталі, у тому числі виробів "ланка гусениці".

Предмет дослідження – тепло-газовий режим лиття в сирю піщану форму.

Методи дослідження.

У роботі використовується комплексний метод досліджень, який включає:

– системний аналіз процесів, що формують тепло-газовий режим сирової піщаної форми;

– експериментальні дослідження в лабораторних і виробничих умовах залежностей температурних полів, газового тиску від технологічних параметрів приготування формувальної суміші та температури рідкого металу, товщини стінки виливка для виробів типу "ланка гусениці", а також газонасиченості металу від типу розкислювача і способу його введення;

– числове моделювання температурних полів, вологості й газового тиску системи "стержень – метал – сира піщана форма" на спеціально розробленій і програмно реалізованій на ЕОМ математичній моделі.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна полягає в тому, що автором отримані наступні результати:

- на основі використання системного підходу до удосконалення

тепло-газового режиму лиття в сиру піщану форму отримано залежність впливу вологості суміші, твердості поверхневого шару форми, товщини стінки виливка і температури сталі, що заливається, на зміну газового тиску в ливарній формі;

- на основі даних експериментальних вимірювань температурного поля і газового тиску в ливарній формі розроблено математичну модель, що описує взаємозв'язок технологічних параметрів тепло-газового режиму системи "стержень – метал – сира піщана форма";
- вивчено експериментально і теоретично доведено вплив конструктивних чинників системи вентиляційних каналів, що забезпечують створення спрямованого газового режиму, на величину газового тиску в ливарній формі при одержанні якісних сталевих виливків;
- визначено розрахунковим методом граничну кількість газів у розплаві, при якій з'являється ситоподібна пористість у виливках з високомарганцевистою сталі. Досліджено вплив розкислення металу в печі комплексними феросплавами на основі феросилікомарганцеалюмінію на вміст газів у металі й утворення дефектів газового походження у виливках.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено технологічний процес, що включає комплекс заходів, спрямованих на розв'язання задачі удосконалення ТГР лиття в сиру піщану форму, у тому числі:

- розроблено систему керування приготуванням формувальних сумішей, що враховує вплив складу сумішей на ТГР і, як наслідок, на якість виливків. Впровадження зазначеної системи в практику сталеливарного цеху (СЛЦ) відкритого акціонерного товариства "Харківський тракторний завод" (ВАТ "ХТЗ") дозволило знизити брак виливків на 8% від загальної кількості забракованих;
- розроблено і впроваджено технологічні прийоми, які забезпечують створення в ливарній формі спрямованого газового режиму шляхом застосування ефективної системи вентиляційних каналів, що сприяють запобіганню утворення дефектів газового походження і зниженню браку виливків на 6,5% від загальної кількості забракованих. Названі технічні прийоми захищені двома авторськими свідоцтвами;
- розроблено комп'ютерну систему для моделювання ТГР ливарної форми й удосконалення технологічних рішень при виробництві сталевих виливків, елементи якої використовуються в системі автоматизованого проектування (САПР) технологічних процесів лиття шляхом аналізу отриманих результатів. За допомогою модуля прийняття технологічних рішень у складі ППП комп'ютерної системи можна здійснити вибір основних параметрів готування формувальних сумішей, металу, що заливається, та конструктивних елементів ливарної форми;
- удосконалено і впроваджено дифузійно-осадовий спосіб розкислення високомарганцевистої сталі, який дозволяє знизити її газонасиченість і кількість газових дефектів у виливках на 22,7% від загальної кількості забракованих та скоротити витрату розкислювачів. Спосіб захищено авторським свідоцтвом;
- результати проведених досліджень використані при читанні курсу "Теорія формування виливків" (керування тепло-газовим режимом лиття) при підготовці інженерів-ливарників у НТУ "ХПІ" на кафедрі "Ливарне

виробництво".

Впровадження результатів проведених робіт на ВАТ "ХТЗ" дозволило підвищити якість і знизити брак виливків через наявність газових раковин і ситоподібної пористості в сталеливарному цеху заводу. Загальний економічний ефект склав 129,00 тис. руб./рік (у цінах 1990 р.).

Особистий внесок здобувача полягає в реалізації системного підходу і методик для теоретичного й експериментального вивчення процесів і параметрів, що формують тепло-газовий режим лиття в сиру піщану форму. Автор розробив математичну модель тепло-газового режиму системи "стержень – метал – сира піщана форма", алгоритми для її реалізації на ЕОМ, обробив і проаналізував результати моделювання та результати експериментів.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати роботи доповідались й обговорювались на: Всесоюзній конференції ливарників, м. Київ, 1983 р.; XI науково-технічній нараді, м. Краматорськ, 1983 р.; зональних науково-технічних конференціях ливарників, м. Андропов, 1984 р.; м. Барнаул, 1984 р.; м. Пенза, 1984 р.; семінарі Ленінградського Будинку науково-технічної пропаганди, м. Ленінград, 1985 р.; Міжреспубліканському науково-технічному семінарі, м. Чебоксари, 1987 р.; IV Республіканській науково-технічній конференції, м. Запоріжжя, 1985 р.; VII науково-технічній конференції, м. Каунас, 1986 р.; V Республіканській науково-технічній конференції, м. Запоріжжя, 1988 р.; II Республіканській науково-технічній конференції, м. Одеса, 1990 р.; Міжнародних наукових конференціях, м. Харків, 1995, 1996, 1999 і 2001 р.р.; Міжнародній науково-технічній конференції, м. Київ, 1997 р.; VII Республіканському семінарі, м. Одеса, 2000 р.; наукових семінарах кафедри "Ливарне виробництво" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Публікації матеріалів.

За матеріалами дисертації опубліковано 17 друкованих праць, у тому числі 4 статті без співавторів. У науково-технічних журналах опубліковано 6 статей із переліку спеціальних видань ВАК України, а також отримано три авторські свідоцтва на винаходи.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, викладена на 202 сторінках, містить 115 сторінок машинописного тексту, 42 рисунка, 3 таблиці, 8 додатків і список літератури з 146 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, викладені наукова новизна та вірогідність отриманих результатів, їх практичне значення.

Перший розділ – оглядовий. У ньому розглядаються сучасні погляди на формування тих параметрів якості виливків, що пов'язані з тепло- і масообмінними процесами при виробництві литва. Розкриваються основні уявлення про причини утворення дефектів газового походження при виробництві сталевих виливків з причини форми і металу. Приводиться аналіз процесів формування температурного поля форми і стержня, процесів газоутворення і фільтрації газу в ливарній формі. Розглядаються питання про механізм утворення газових раковин і ситоподібної пористості в результаті виділення газів у самостійну фазу через зниження їхньої розчинності при зниженні температури рідкого металу.

Через велику кількість різнорідних чинників, що визначають ТГР ливарної форми, зроблено висновок про необхідність використання системного підходу для подальших

досліджень у напрямку удосконалення технологічного процесу лиття, підвищення якості та зниження браку сталевих виливків, що виготовляються в сирих піщаних формах, стосовно конвексного й автоматизованого виробництва.

Внаслідок того, що процеси, які протікають у сирих піщаних формах при виробництві сталевих виливків, вивчені недостатньо й у зв'язку з великою кількістю змінних різних чинників, що впливають на утворення газових дефектів у виливках, виникла необхідність визначення основних параметрів технологічного процесу лиття, виділення з них головних та розробки на цій основі математичної моделі.

На основі проведеного аналізу визначені мета і задачі дослідження.

Другий розділ присвячений розробці комплексного підходу і методик для експериментального і теоретичного вивчення параметрів і процесів, що формують ТГР сирієї піщаної форми. Схема взаємодії процесів ливарної технології, в наслідок якої формуються дефекти газового походження, наведена на рис. 1.

Ефективне керування поданим комплексом процесів можливе тільки на основі використання інструментальних засобів системного підходу.

У межах цього підходу розв'язані наступні задачі: як основний об'єкт дослідження вибрали систему "стержень – метал – сира піщана форма"; розробили і реалізували методики вимірювання температурних полів і газового тиску в ливарній формі, а також газонасиченості рідкої сталі; розробили та впровадили методику проведення промислових експериментів і стабілізації властивостей формувальної суміші для вивчення процесів утворення газових дефектів у виливках; розробили математичні моделі формування полів температури і газового тиску в досліджуваній системі: "стержень – метал – сира піщана форма".

Розроблено оригінальну методику вимірювання температурних полів і газового тиску в дослідній ливарній формі, що дозволяє встановити залежність впливу вологості суміші, твердості поверхневого шару форми, товщини стінки виливка і температури сталі, що заливається, на зміну газового тиску на межі розділу "метал-форма".

Газонасиченість металу визначали на пробах, відібраних від дослідних і серійних плавок високомарганцевистої сталі після розплавлення шихти, розкислення та з роздавального ковша. Масову частку кисню, азоту і водню визначали методом вакуум-плавлення на ексхолографіях ЕАО-202, ЕАН-202 фірми "Бальцерс".

Встановлення залежності якості та рівня браку сталевих виливків, у тому числі виробів "ланка гусениці" відповідального призначення, робили в СЛЦ за методикою паспортизації всіх ливарних форм, що дозволяє одержати максимально достовірну виробничу інформацію.

При дослідженні системи "стержень – метал – сира піщана форма" (рис. 2) враховували наявність трьох зон при твердінні металу виливка – рідкої, двофазної і затверділої, а також залежність властивостей елементів розглянутої системи від температури.

Рис. 2. Схема розв'язуваної задачі:

T_L , T_S – температура ліквідусу і солідусу в металі виливка,

$T_{зал}$ – температура відливання,

$T_{нс}, T_{П}$ – температура поверхні контакту "метал-стержень" і "метал-форма"

Математична модель зміни температурного стану досліджуваної системи розроблена на основі концепції теорії теплопровідності та результатів вивчення кінетики формування температурних полів сирієї піщаної форми. Вона являє собою наступну систему рівнянь:

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1 x, \tau}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_1 \frac{\partial T_1 x, \tau}{\partial x} \right], \quad (1)$$

$$C_2 \rho_2 \frac{\partial T_2 x, \tau}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_2 \frac{\partial T_2 x, \tau}{\partial x} \right], \quad (2)$$

$$T_3 x, \tau = T_H + T_{II} - T_H \left(1 - \frac{x}{\sqrt{2n n+1 a \tau}} \right)^n - \frac{U_0}{C_B} [r_2 T_{ИС} - T_H], \quad (3)$$

де $C_1, C_2, \rho_1, \rho_2, \lambda_1, \lambda_2$ – відповідно теплоємності, щільності та теплопровідності стержня і металу; $T_1 x, \tau, T_2 x, \tau, T_3 x, \tau$ – температурні поля стержня, металу і ливарної форми в залежності від просторової координати x і часу τ ;

T_H, T_{II} – початкова температура форми і температура поверхні контакту "метал-форма"; U_0 – початкова вологість суміші; $T_{ИС}, C_B, r_2$ – температура випаровування, питома теплоємність і теплота випаровування води; a, n – температуропровідність матеріалу форми і показник параболи.

Рівняння (1), (2) і (3) описують, відповідно, температурні поля стержня, металу вилівка і піщаної форми. Вони розв'язувались при крайових умовах III і IV роду, що описують, відповідно, умови на межі з навколишнім середовищем і сполучення температурних полів на межах фаз. Оскільки розглянутий період зіткнення рідкого металу з піщаною формою (стержнем), небезпечний з погляду проникнення в метал газу, що утвориться, триває (залежно від температури металу, його гідростатичного тиску і товщини стінки вилівка) від часток секунд до десятка секунд, вважаємо, що взаємодіючі тіла знаходяться в тісному контакті і є напівобмеженими в тепловому відношенні.

Математична модель процесу формування газового тиску виведена на основі матеріального балансу в узагальненому елементарному обсязі ливарної форми, у тому числі з використанням рівняння фільтрації Дарсі, рівняння нерозривності фільтраційного потоку, а також з урахуванням характеристичного рівняння стану газу, має такий вигляд:

$$m \frac{\partial \rho}{\partial \tau} = -k \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} - \rho \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial P}{\partial x} \right) + q x, \tau, \quad (4)$$

$$\rho = \frac{P}{gRT_3}, \quad (5)$$

де m – пористість; k – коефіцієнт проникності, що є функцією вологості формувальної суміші; P – значення газового тиску; $q x, \tau$ – питома потужність джерела газу, як функція координати x і часу τ ; ρ – густина газу, визначена за характеристичним рівнянням; g – прискорення вільного падіння; T_3 – температура газу в розглянутій точці форми.

Таким чином, рівняння (4) – (5) є основними при моделюванні ТГР ливарної форми і враховують значення густини газу в мінливому полі температур і газового тиску. Для підвищення точності розв'язання поставленої задачі в лабораторних умовах проведені вимірювання значень температурних полів, газового тиску і відповідних початкових та крайових умов залежно від основних технологічних параметрів досліджуваної системи.

Третій розділ присвячений розробці та реалізації алгоритму розрахунку параметрів

ТГР для досліджуваної системи "стержень – метал – сира піщана форма", яка подана системою рівнянь (1) – (5).

У структурному плані елементами алгоритму є: метод сіток числового розв'язання рівняння теплопровідності, що враховує виділення теплоти кристалізації в металі вилівка, а також математична модель для опису полів температур і вологості сирої піщаної форми, побудована на основі обробки експериментальних даних.

Для моделювання кінетики формування газового тиску в ливарній формі розроблено ітераційно-різницевий алгоритм розв'язання рівнянь (4) – (5), якому належить провідна роль в обчислювальному процесі розробленої системи.

Дослідження параметрів ТГР сирої піщаної форми на основі розробленого алгоритму виконувалось в діалоговому режимі шляхом послідовного введення з дисплея початкових даних: температури відливання рідкого металу, геометричних розмірів елементів ливарної форми, що беруть участь у формуванні параметрів ТГР, теплофізичних та фільтраційних властивостей форми, параметрів алгоритму – кількості вузлів сітки, тривалості розрахунку, параметра закінчення ітераційного процесу та ін.

Для підвищення адекватності математичних моделей розроблено і реалізовано метод їх параметричної ідентифікації. Як параметр, що уточнюється, вибрали теплопровідність сухої формувальної суміші та стержня, що при відомій вологості однозначно визначає і теплопровідність сирої суміші. У цьому випадку уточнене значення цього параметра визначали на основі пошуку мінімуму суми квадратів відхилень між розрахунковими та експериментальними значеннями цих параметрів в точці.

Запропонований метод ідентифікації параметрів математичної моделі також використовували при розв'язанні задачі числового розрахунку значення газового тиску в ливарній формі; він дозволяє використовувати розроблений алгоритм як ефективний робочий інструмент для аналізу реальних процесів, що формують ТГР сирої піщаної форми при виготовленні виливків невеликого і середнього розважування в умовах масового виробництва литва. Описаний алгоритм реалізовано на ПЕОМ у вигляді пакета прикладних програм "МАГМА-R" алгоритмічною мовою ФОРТРАН.

Обробка даних про ступінь відповідності розрахункових та експериментальних параметрів ТГР ливарної форми показує, що середньоквадратичне відхилення в розрахунках температури складає 11,3%, а за розрахунком газового тиску 14,6%, тобто розроблені алгоритми забезпечують задовільну відповідність експериментальним даним.

За допомогою пакета прикладних програм реалізували серію математичних експериментів з вивчення процесів формування ТГР сирої ливарної форми і ступеня впливу на нього основних параметрів технологічного процесу виготовлення сталевих виливків: товщини стінки вилівка, температури металу, що заливається, твердості поверхневого шару форми, технологічних і теплофізичних властивостей матеріалу форми і стержня.

На рис. 3 і 4 наведені типові криві залежності значення максимального газового тиску P_{1max} від товщини стінки вилівка l_0 і температури металу $T_{зал}$, що заливається, отримані розрахунковим шляхом (суцільна лінія). Тут також наведені результати експериментальних вимірювань тих же параметрів (крапки).

Рис. 3. Вплив товщини стінки вилівка l_0 на величину максимуму газового тиску P_{1max} :

$$1 - T_{зал} = 1540^{\circ}C, H = 85 \text{ од.}, W = 5\%;$$

$$2 - T_{зал} = 1560^{\circ}C, H = 85 \text{ од.}, W = 5\%;$$

– теоретично; – експериментально

Рис. 4. Вплив температури відливання $T_{зал}$ сталі 45Л

на величину максимуму газового тиску P_{1max} :

$$1 - l_0 = 10 \text{ мм}, W = 5\%, H = 85 \text{ од.};$$

$$2 - l_0 = 20 \text{ мм}, W = 5\%, H = 85 \text{ од.};$$

– теоретично; – експериментально

З рисунків 3 і 4 видно, що підвищення температури відливання металу $T_{зал}$ у форму і збільшення товщини стінки виливка l_0 (часу контакту з нею) викликає зростання максимального тиску газу P_{1max} на межі контакту "метал-форма". Аналіз результатів сполучення впливу l_0 та $T_{зал}$ показав, що із збільшенням обох цих величин швидше настає P_{1max} .

Аналогічними експериментами встановлено, що при зниженні вологості формувальної суміші W і твердості поверхневого шару сирої піщаної форми H помітно зменшується пік тиску газів. При цьому, на максимум тиску газу P_{1max} фактор твердості впливає сильніше, ніж зміна вологості формувальної суміші.

Також встановлено, що в початковий момент часу після відливання форми спостерігається активна зміна величини зони конденсації убік її збільшення залежно від виду сплаву і початкової вологості формувальної суміші, при цьому максимум тиску газу настає в момент утворення зони конденсації значної ширини (більше 8-10 мм).

У четвертому розділі описані експериментальні дослідження температурних полів і газового тиску за допомогою датчиків, розташованих у дослідній ливарній формі та приєднаних до прибору автоматичного запису температури і тиску в часі. На створеній експериментальній установці вивчена кінетика формування температурного поля сирої ливарної форми. З цією метою в лабораторних умовах відливалися плоскі, розміром 100×120 мм, товщиною 10, 20, 30 і 40 мм, зразки зі сталей 45Л і 110Г13Л в сирі піщану форму, в яку для запису процесу зміни температур встановлювали термопари на відстані 0, 1, 3 і 5 мм від поверхні контакту "метал-форма". Сталь виплавляли в печі Таммана у корундових тиглях. В усіх дослідах зберігали незмінними параметри ливникової системи, хімічний склад металу і тривалість його відливання.

На основі обробки отриманих експериментальних даних вивчили кінетику зміни ширини трьох характерних температурних зон сирої ливарної форми: першої, у якій температура змінюється від температури на поверхні контакту "метал-форма" до температури випаровування $T_{ис}$; друга, що має сталу температуру, яка дорівнює температурі випаровування води $T_{ис}$; і третю, у якій температура змінюється від $T_{ис}$ до початкової температури форми. Великий вплив на процес формування дефектів газового походження у виливках має температура на межі зіткнення рідкого металу і форми. Експериментально знайдені її значення в процесі відливання для різних сплавів. В усіх випадках загальний закон її зміни полягає в послідовній зміні трьох етапів: 1) повільний підйом температури за рахунок теплового впливу дзеркала рідкого металу, що піднімається; 2) швидке збільшення при зіткненні рідкого металу з

формою; 3) стабілізація в наступний період, тривалість якого залежить від товщини стінки виливка і знаходиться в межах до 1...2 хв.

Вимірне значення газового тиску на межі "метал-форма" у початковий момент часу при зміні складу і властивостей досліджуваної суміші, температури відливання рідкого металу, вологості форми і регульованій довжині шляху фільтрації газу. Ключовим чинником утворення газових раковин з причини форми є значення першого максимуму (P_{1max}) газового тиску в ливарній формі. Результати обробки осцилограм залежності тиску газу від часу для сталевих виливків показали, що ця крива, як і для чавунного лиття, має два екстремуми: перший з яких викликаний вибуховим випаровуванням води форми при її зіткненні з рідкою сталлю, другий – втратою зв'язаної води і термодеструкцією органічних і неорганічних домішок суміші. При цьому значення максимального тиску, у порівнянні з литтям чавуну, вище, що може бути пояснене більш високою температурою відливання сталі.

У вивчених умовах час настання першого максимуму газового тиску становив 3...5 с після зіткнення рідкого металу з формою, а його абсолютне значення коливалося в межах 105...109 КПа. На основі проведених досліджень з'ясували, що основними чинниками, які впливають на величину P_{1max} є: товщина стінки виливка, температура відливання рідкого металу (рис. 3, 4), щільність, вологість, газопроникність і газотвірна здатність формувальної суміші в ливарній формі. Чим вище $T_{зал}$ металу у форму, l_o і газотвірна здатність складових у формувальній суміші, тим швидше утвориться пік газового тиску. Зниження W і H сприяє зменшенню P_{1max} . При цьому середня газопроникність суміші зменшується через утворення зони конденсації сирого форми в процесі її взаємодії з металом виливка.

Важливим чинником зниження газового тиску в ливарній формі, особливо в її відповідальних частинах, є зниження гідравлічного опору руху фільтрівного газу шляхом створення спеціальних вентиляційних каналів. Для вивчення ефективності такого підходу до організації спрямованого газового потоку сконструйована експериментальна ливарна форма (рис. 5), у якій вимірялось значення газового тиску в процесі відливання. У межах цього підходу було проведено експериментальне і теоретичне вивчення ефективності зниження тиску в ливарній формі при різних умовах відливання. Знайдено, що основним чинником, який впливає на зміну значення P_{1max} , є довжина шляху фільтрації газу, тобто відстань δ від дна каналу до поверхні розділу "метал-форма" (рис. 6). На основі проведеного вивчення розроблено ефективний спосіб зниження газового тиску в ливарній формі.



Рис. 5. Експериментальна напівформа:

- 1 – напівформа;
- 2 – вентиляційний отвір з діаметром d_{60} ;
- 3 – отвір для датчика газового тиску;
- l – відстань між вентиляційним отвором та отвором для датчика газового тиску;
- δ – довжина шляху фільтрації газу

Рис. 6. Вплив довжини шляху фільтрації δ на значення максимуму газового тиску:

$$l_0 = 20 \text{ мм}, T_{\text{зал}} = 1470^\circ\text{C}, W = 5\%, H = 90 \text{ од.}, l = 6 \text{ мм}$$

Великий вплив на утворення дефектів газового походження в сталевих виливках мають газонасиченість, температура і час відливання рідкого металу. Для вивчення впливу цих чинників на якість виливків були проведені багаторічні виробничі дослідження технологічного процесу виготовлення сталевих виливків "ланка гусениці" зі сталі 110Г13Л. Для з'ясування можливості зменшення газонасиченості сталі знайдені кількісні залежності газонасиченості сталі на всіх етапах, пов'язаних з її плавленням, доведенням і розкисленням. Встановлено розрахункове значення

критичного вмісту водню у виливках, що дорівнює $2,7 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металу.

При розробці технології розкислення досліджували шлаковий і температурний режим плавки. У результаті обробки отриманих даних методами математичної статистики за допомогою критерію t -Ст'юдента встановлено з ймовірністю більше 0,95, що запропонована технологія розкислення значно впливає на зменшення газонасиченості високомарганцевистої сталі і не знижує рівень механічних її властивостей порівняно з базовою технологією. При цьому розроблена технологія не чинить істотного впливу на основні характеристики шлакового режиму.

Отримані результати експериментальних досліджень використовували наступним образом: по-перше, для безпосереднього визначення раціональних границь параметрів і оптимізації технологічного процесу виготовлення виливка і, по-друге, для ідентифікації математичних моделей і параметричного настроювання алгоритмів розрахунку ТГР сирової ливарної форми.

У п'ятому розділі наведені результати роботи, а також практичні рекомендації з удосконалення технологічного процесу виготовлення сталевих виливків за рахунок стабілізації параметрів приготування формувальної суміші та коректування її складу з метою підвищення їхньої якості на основі попередження утворення дефектів газового походження. При розв'язанні цієї задачі як керовані використовувалися три групи чинників, визначених на основі математичного моделювання й експериментальних даних: перша група – чинники, пов'язані з технологічними властивостями форми; друга – пов'язані з організацією в ній за допомогою системи вентиляційних каналів спрямованого потоку газів; а також третя група – чинники, що враховують процеси газонасиченості та дегазації рідкої сталі.

Домінуючу роль у формуванні параметрів ТГР ливарної форми відіграє склад і властивості формувальних сумішей. З погляду утворення газових дефектів вирішальне значення мають газопроникність і газотвірна здатність. На формування процесів ТГР ливарної форми впливає дві групи чинників, пов'язаних з формувальною сумішшю: по-перше, конкретний її склад, по-друге, стабільність її складу.

Звідси випливає, що одним із засобів розв'язання задачі попередження утворення у виливках дефектів газового походження є мінімізація газотвірної здатності формувальної суміші, оптимізація її газопроникності та максимальне зменшення ступеня розсіювання цих параметрів.

На основі викладених передумов розробили і впровадили в умовах СЛЦ ХТЗ систему керування та стабілізації технологічних властивостей формувальних сумішей з використанням: організації і проведення спеціальних виробничих експериментів для одержання максимально достовірної виробничої інформації; підвищення точності дозування газотвірних домішок на змішувачах; визначення кількісних залежностей для керування властивостями сумішей; коректування технологічних параметрів з метою підвищення якості виливків.

Визначили і рекомендували значення і діапазон зміни наступних технологічних параметрів: газопроникності, не менше 120 од.; газотвірної здатності, не більше $26 \text{ см}^3/\text{г}$; вологості суміші, у межах 4,4...5,2 %; часу перемішування формувальної суміші в змішувачах 4...6 хв.

Впровадження розробленої системи в практику СЛЦ дозволило відкоригувати і стабілізувати технологічний процес і зменшити кількість дефектів газового походження на 8,0 % від загальної кількості забракованих, у тому числі, для виливків "ланка гусениці" відповідального призначення.

Для зменшення значення газового тиску під час відливання у відповідальних місцях ливарних форм розроблена конструктивна система вентиляції, що являє собою своєрідний "тоннель", який складається із системи з'єднаних між собою вертикальних і горизонтальних каналів для евакуації газів. Вибір геометричних розмірів вентиляційних каналів робили на основі врахування технологічних чинників: вони не повинні викликати помітного зменшення загальної міцності ливарної форми як інженерної конструкції; розміри каналів і їх розташування мають забезпечувати створення спрямованого газового потоку з ливарної форми.

Для розв'язання цієї задачі провели теоретичні й експериментальні дослідження для визначення раціональної конструкції вентиляційних каналів та оптимального газового тиску зміною довжини шляху фільтрації газу. Встановлено, що для забезпечення ефективності фільтрації газу для виливка "ланка гусениці" відповідального призначення оптимальна відстань від межі контакту "метал-форма" до дна газового каналу становить 8...12 мм. На розроблене технічне рішення отримане авторське свідоцтво № 1447530.

Одним із способів створення спрямованого газового потоку з ливарної форми є використання рознімання форми як вентиляційного каналу. Для того щоб газ міг безперешкодно видалятися по розніманню необхідно, щоб цей природний вентиляційний канал не був заповнений рідким металом, тобто необхідно попередити утворення заливок по розніманню. Перешкодою для утворення заливок служить зменшення довжини зазору між верхньою і нижньою напівформами. Це можна зробити, якщо поверхні зіткнення будуть мати мінімальні нерівності, головною причиною утворення яких є нерівномірний розподіл зусилля відриву опоки за площею зіткнення з моделлю.

Для підвищення рівномірності розподілу зусилля відриву запропонували ввести етап попереднього протягання моделі за допомогою еластичного матеріалу, що виступає з поглиблень по контуру опоки. На запропоноване технічне рішення отримане авторське свідоцтво № 1463377. Упровадження технологічних прийомів ефективної вентиляції ливарної форми забезпечило зниження браку виливків через газові раковини на 6,5 % від загальної кількості забракованих.

Одним з чинників, що впливає на газонасиченість рідкого металу, є технологія його розкислення. На основі аналізу технологічного процесу і проведених досліджень удосконалено і впроваджено спосіб розкислення високомарганцевистої сталі, що

дозволяє знизити її газонасиченість і зменшити кількість дефектів газового походження за рахунок використання для розкислення комплексного феросплаву феросилікомарганцеалюмінію, який містить 2...5 % алюмінію. Застосування цієї технології розкислення дозволило зменшити окисленість металу за рахунок зниження вмісту кисню в сталі на 0,0023 %, зменшити рівень браку по газових раковинах на 6,1 %, ситоподібної пористості на 16,6 % і знизити витрату розкислювачів, у тому числі алюмінію. Спосіб захищений авторським свідоцтвом № 1592347.

Досліджували вплив температури і часу відливання високомарганцевистої сталі в ливарну форму на рівень браку виливків через дефекти газового походження.

Встановлено, що оптимальне значення температури і часу відливання, що забезпечує мінімальну кількість браку виливків "ланка гусениці" зі сталі 110Г13Л, становить

$T_{зал} = 1425...1470 \text{ } ^\circ\text{C}$ і $\tau_{зал} = 4...6 \text{ с}$. Впровадження цих рекомендацій сприяло

стабілізації технологічного процесу виробництва виливків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Тепло- і масообмінні процеси, що відбуваються при відливанні ливарної форми, вивчені недостатньо щодо масового виробництва сталевих виливків у сирих піщаних формах. Враховуючи, що якість виливків визначається цими процесами, виникла необхідність у розробці сучасного системного підходу до аналізу та керування тепло-газовим режимом лиття.
2. Як основний об'єкт вивчення прийнята система "стержень – метал – сира піщана форма". На основі використання системного підходу розроблена принципова схема моделювання процесів, що формують ТГР сирій піщаної форми. Отримано залежності впливу вологості суміші, твердості поверхневого шару форми, товщини стінки виливка, температури сталі, що заливається, і довжини шляху фільтрації газу на зміну газового тиску в ливарній формі.
3. На спеціально розробленій лабораторній установці був вивчений процес формування температурних полів і газового тиску в сирій піщаній формі. Отримано кількісні залежності, що описують зв'язки цих величин з керованими параметрами технологічного і конструктивного характеру стосовно автоматизованого виготовлення сталевих виливків, у тому числі виробів "ланка гусениці" відповідального призначення.
4. Розроблено і програмно реалізовано математичну модель, що описує процес формування параметрів ТГР у системі: "стержень – метал – сира піщана форма", що включає моделювання чотирьох базових процесів: температурного поля; процесу виділення теплоти кристалізації рідкої сталі; кінетики формування поля вологості і процесу формування газового тиску в сирій піщаній формі при її відливанні рідким металом. При їхній розробці використані методи сіток, фізико-хімічного аналізу, ітераційно-різницевого та математичного аналізу експериментальних даних. Загальний алгоритм моделювання ТГР ливарної форми реалізовано мовою Фортран на ПЕОМ у вигляді пакета прикладних програм "MAGMA-R". Зіставлення результатів моделювання з експериментом показало, що її відносна точність становить 10-15 % при використанні параметрів моделі, отриманих внаслідок їх ідентифікації за результатами спеціально проведених експериментів.
5. Розроблено систему керування приготуванням формувальних сумішей, що враховує вплив складу суміші на ТГР ливарної форми і на якість виливків. Впровадження зазначеної системи в практику сталеливарного цеху

дозволило знизити брак виливків через дефекти газового походження на 8 % від загальної кількості забракованих.

6. Проведено експериментальні дослідження впливу розмірів і розташування у формі спеціальних вентиляційних каналів, які забезпечують створення в ній спрямованого газового режиму, що сприяє попередженню утворення дефектів газового походження і зниженню браку виливків на 6,5 % від загальної кількості забракованих.
7. Проведено експериментальні і теоретичні дослідження впливу процесів газонасиченості та дегазації рідкої сталі на формування газових раковин, ситоподібної і газосуадочної пористості в сталевих виливках. Удосконалено і впроваджено дифузійно-осадовий спосіб розкислення високомарганцевистої сталі з використанням комплексного феросплаву феросилікомарганцеалюмінію, що дозволяє знизити її газонасиченість і рівень браку виливків через газові раковини на 6,1 %, ситоподібну пористість на 16,6 % від загальної кількості забракованих та знизити витрату розкислювачів, у тому числі алюмінію.
8. Результати роботи з оптимізації технологічного процесу виготовлення сталевого литва впроваджені на ВАТ "ХТЗ". Запропоновані технічні рішення захищені трьома авторськими свідоцтвами. Економічний ефект від впровадження роботи склав 129 тис. руб. (у цінах 1990 р.)

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Радченко А.А., Руденко В.А., Волков Д.И. Технология раскисления марганцовистой стали ферросиликомарганцеалюминием // Литейное производство. – 1995. – № 7-8. – С. 15.
2. Пелых С.Г., Пономаренко О.И., Радченко А.А. Моделирование физических полей в управлении технологией литья // Процессы литья. – 2001. – № 3. – С. 66-69.
3. Радченко А.А. Газовые процессы в литейной форме // Процессы литья. – 2001. – № 3. – С. 53-56.
4. Пономаренко О.И., Радченко А.А. Управление газовым процессом в литейной форме // Вестн. Национ. техн. ун-та "ХПИ". – 2001. – №14. Новые решения в современных технологиях. – С. 15-16.
5. Радченко А.А. Расчет кинетики газового давления в литейной форме // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. – 1985. – №225. Прогрессив. технология обраб. металлов. Вып. 6. – С. 9-11.
6. Радченко А.А. Влияние температуры заливки литейных форм на качество отливок // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. – 1986. – №239. Прогрессив. технология обраб. металлов. Вып. 7. – С. 11-13.
7. Литейная форма: А.с. 1447530 СССР, МКИ В22 С 9/10 / А.А. Радченко, С.Г. Пелых, В.П. Шабанин (СССР). – №4129706/23-02; Заявлено 01.10.86; Опубл. 30.12.88, Бюл. – №48. – 2 с.
8. Модельно-опочная оснастка: А.с. 1463377 СССР, МКИ В22 С 7/04 / А.А. Радченко, С.Г. Пелых, В.А. Руденко (СССР). – №4283113123; Заявлено 13.07.87; Опубл. 07.03.89, Бюл. – №9. – 2 с.
9. Способ раскисления высокомарганцовистой стали: А.с. 1592347 СССР, МКИ С21 С 5/52 / Ю.Ф. Радько, А.А. Радченко, И.Г. Волков (СССР). – №4426391/27-02; Заявлено 17.05.88; Опубл. 15.09.90, Бюл. – №34. – 4 с.
10. Радченко А.А., Пелых С.Г. Оптимизация газового режима литейной формы // Межвузовский сборник научных трудов. Вопросы теории и технологии литейных процессов. – Комсомольск-на-Амуре: Хабаровск. политехн. ин-т. – 1985. – С. 103-106.

11. Радченко А.А., Пономаренко О.И. Повышение эффективности управления технологическим процессом изготовления отливок // Совершенствование технологических процессов и повышение качества отливок из чугуна и цветных сплавов: Тез. зональн. науч. техн. конф. (Андропов, сентябрь 1984). – Ярославль: ААТИ. – 1984. – С. 32-33.
12. Радченко А.А., Пономаренко О.И. Повышение качества и выхода годного стальных отливок // Новая техника и пути повышения коэффициента использования металла в литейном производстве: Тез. науч. техн. совещ. (Барнаул, 27-28 ноября 1984). – Барнаул: АПИ. – 1984. – С. 8-10.
13. Радченко А.А., Пономаренко О.И. Корреляционный отбор параметров регулирования качества отливок // Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: Тез. докл. IV Республ. науч. техн. конф. (Запорожье, 10-12 сентября 1985). – Запорожье: ЗМИ. – 1985. – С. 101-102.
14. Радченко А.А., Алексеев Ю.П., Омельченко Г.В. Оптимальный газовый режим литейных форм // Новые высокопроизводительные технологические процессы, высококачественные сплавы и оборудование в литейном производстве: Тез. докл. VII научн. техн. конф. (Каунас, 16-18 сентября 1986). – Киев: ППП Укр НИИНТИ. – 1986. – С. 90-91.
15. Радченко А.А., Пономаренко О.И. Методика совершенствования технологии изготовления стальных отливок в массовом производстве // Современные технологические процессы получения высококачественных отливок, повышения стойкости литейной оснастки и режущего инструмента: Тез. докл. Межреспубл. науч. техн. сем. (Чебоксары, 10-12 октября 1987). – Чебоксары: ЧГУ. – 1987. – С. 6-7.
16. Радченко А.А., Пельх С.Г., Волков И.Г. Влияние содержания неметаллических включений и газов на качество отливок // Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: Тез. докл. V Республ. науч. техн. конф. (Запорожье, 6-8 сентября 1988). – Запорожье: ЗМИ. – 1988. – С. 20.
17. Радченко А.А. Технология производства марганцовистой стали с использованием алюминийсодержащих ферросплавов / Информ. лист. №117-90. – Х.: ППП Харьковского МТЦНТИ. – 1990. – 2 с.

АНОТАЦІЯ

Радченко О.О. Підвищення якості сталевих виливків шляхом удосконалення тепло-газового режиму лиття у сиру форму. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво. Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, 2002 р.

Дисертація присвячена підвищенню якості й зниженню браку сталевих виливків шляхом розробки і реалізації заходів щодо запобігання утворенню дефектів газового походження на основі використання системного підходу і методів математичного моделювання технологічних процесів, які протікають у сирій піщаній формі в умовах автоматизованого автотракторного виробництва.

На основі використання системного підходу одержано залежність зміни газового тиску від вологості суміші, твердості поверхневого шару форми, товщини стінки вилівка і температури сталі, що заливається. За даними експериментальних вимірювань температурного поля і газового тиску в ливарній формі розроблено математичну модель, що описує взаємозв'язок технологічних параметрів тепло-газового режиму системи "стержень – метал – сира піщана форма". Розроблено і впроваджено систему керування приготуванням формувальних сумішей, яка дозволила знизити брак виливків на 8% від загальної кількості забракованих.

Розроблено і впроваджено ефективну систему вентиляційних каналів й обладнання для її виконання, що забезпечує створення у ливарній формі спрямованого газового режиму з метою видалення металу зовні та зниження браку виливків через газові раковини на 6,5 % від загальної кількості забракованих. Удосконалено і впроваджено дифузійно-осадовий спосіб розкислення високомарганцевистої сталі комплексними феросплавами (феросилікомарганцеалюмінієм), який дозволяє значно зменшити вміст газів, у тому числі кисню на 0,0023 %, і знизити рівень браку виливків через газові раковини на 6,1 %, та ситоподібної пористості на 16,6 % від загальної кількості забракованих.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 17 статтях, описані технічні рішення захищено 3 авторськими свідоцтвами і впроваджено в сталеливарному цеху Харківського тракторного заводу з економічним ефектом 129 тис. руб./рік (у цінах 1990 р.)

Ключові слова: якість виливків, тепло-газовий режим, газові раковини, ситоподібна пористість, температурне поле, газовий тиск, розкислення, сталь, математичне моделювання, системний підхід.

АННОТАЦІЯ

Радченко А.А. Повышение качества стальных отливок путем усовершенствования тепло-газового режима литья в сырую форму. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство. – Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, 2002 г.

Диссертация посвящена повышению качества и снижению брака стальных отливок путем разработки мероприятий по предупреждению образования дефектов газового происхождения на основе использования системного подхода и методов математического моделирования технологических процессов, протекающих в сырой песчаной форме в условиях автоматизированного автотракторного производства. Реализация системного подхода проведена на основе комплекса теоретических исследований, лабораторных и производственных экспериментов. Это позволило получить систему количественных зависимостей, связывающих параметры тепло-газового режима (ТГР) сырой песчаной формы с ее конструктивными элементами, которые определяются длиной пути фильтрации газа и созданием направленного газового режима, и технологическими свойствами, учитывающими влияние состава формовочной смеси, ее влажности, твердости поверхностного слоя формы, толщины стенки отливки и температуры заливаемой стали.

В качестве основного объекта изучения выбрана система: "стержень– металл – сырая песчаная форма". Важнейшим параметром ТГР литейной формы является значение давления газов на границе контакта "металл-форма", образующихся в песчаной форме во время заливки, кристаллизации и затвердевания жидкого металла. Для изучения кинетики формирования газового давления на границе раздела "металл-форма" разработана специальная экспериментальная установка, с помощью которой изучено влияние различных технологических и конструктивных факторов на параметры максимального газового давления в сырой песчаной форме. В рамках технологии литья тепловые процессы играют доминирующую роль, поэтому они также всесторонне изучены экспериментально и теоретически применительно к условиям изготовления стальных отливок в сырых песчаных формах, в том числе изделий "звено гусеницы" ответственного назначения.

Для теоретического изучения процессов тепло-газового характера в этой системе разработана и программно реализована на ЭВМ математическая модель,

описывающая кинетику формирования полей газового давления в литейной форме и температурных полей в стержне, металле отливки и сырой песчаной форме с соответствующими начальными и краевыми условиями.

Для повышения точности результатов численного моделирования изучаемых процессов разработан и реализован метод идентификации параметров математических моделей по результатам специально проведенных лабораторных экспериментов.

Сопоставление расчетных данных с результатами измерения значений температур и давлений газа показывает, что среднеквадратичное значение их отклонения находится в интервале 10-15 %.

Кроме лабораторных, проведены широкие экспериментальные исследования в производственных условиях с целью выявления зависимостей между интенсивностью появления литейных дефектов газового происхождения и управляемыми параметрами технологического процесса изготовления отливок. В качестве основных параметров технологии изучены: состав и свойства формовочных смесей, их газопроницаемость и газотворная способность, изменение длины пути фильтрации газа, газонасыщенность жидкого металла, температура и скорость заливки стали.

Результаты проведенных исследований использовали при разработке конструктивных мероприятий по совершенствованию технологического процесса изготовления стальных отливок в сырых песчаных формах. Разработан комплекс мероприятий по управлению и оптимизации процесса приготовления и состава формовочной смеси, позволяющий снизить напряженность газового режима и уменьшить вероятность образования в отливках дефектов газового происхождения. Для предупреждения образования по вине формы дефектов газового происхождения в отливках разработана и внедрена эффективная система вентиляционных каналов и оснастка для ее выполнения, обеспечивающая создание в литейной форме направленного газового режима с целью удаления газов от границы контакта с металлом наружу и снижение брака отливок по газовым раковинам на 6,5 % от общего количества забракованных. На основе изучения механизма газонасыщения жидкой стали на всех этапах ее приготовления усовершенствован и внедрен диффузионно-осадочный способ ее раскисления ферросиликомарганецалюминием, позволяющий значительно уменьшить содержание газов в высокомарганцевистой стали, в т.ч. кислорода на 0,0023 %, и уровень брака отливок по газовым раковинам на 6,1 %, ситовидной пористости на 16,6 % от общего количества забракованных.

Описанные технические решения защищены тремя авторскими свидетельствами и внедрены в СЛЦ ХТЗ с экономическим эффектом 129 тыс. руб./год (в ценах 1990 года). Кроме того, результаты проведенных исследований использованы при чтении курса "Теория формирования отливок" (управление тепло-газовым режимом литья) при подготовке инженеров-литейщиков в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" на кафедре "Литейное производство".

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 17 статьях и защищены 3 авторскими свидетельствами.

Ключевые слова: качество отливок, тепло-газовый режим, газовые раковины, ситовидная пористость, температурное поле, газовое давление, раскисление, сталь, математическое моделирование, системный подход.

SUMMARY

A.A. Radchenko. The steel castings quality improvement by means of updating the heat-gas regime of green-sand mould. – Manuscript.

The dissertation for defending a scientific degree of Candidate of Technical Sciences on the speciality 05.16.04 – Foundry. Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of

National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 2002.

The dissertation is devoted to development and realization of the system approach for the solving the problem of updating the heat-gas regime of casting to predict the formation of defect in green-sand steel mould during mass production.

The technical solution on prediction of gas defects because of the efficient vent channels creation and thus providing outward gas flow in green-sand mould are devoted and put into production.

The diffusive-precipitated method of high-manganese steel deoxidation with complex ferrous alloys, containing aluminum, allowing to reduce its gas saturation and a number of gas defect in castings, are updated and put in production.

The principal aspects of dissertation have been published in 17 scientific articles, and have been defended with 3 certificates.

Key words: casting quality, heat-gas regime, gas cavities, grid-porosity, temperature field, gas pressure, deoxidation, steel, mathematical modeling, system approach.

Хочу висловити щиру подяку співробітникам кафедри "Ливарне виробництво" Національного технічного університету "ХПІ", Харківського тракторного заводу ім. С. Орджонікідзе за зроблену допомогу у виконанні роботи та впровадженні її результатів у виробництво, а також к.т.н., доц. Пелиху С.Г. за багаторічне співробітництво і допомогу в проведенні досліджень.