

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

На правах рукопису

**МИЛЕНЬКИЙ Ігор Анатолійович**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА  
ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВИЛИВКІВ (ЗЛИВКІВ) ТА  
ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ ПРИ ЛИТТІ У КОКІЛЬ**

Спеціальність 05.16.02 - "Металургія чорних металів"

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпродзержинськ - 1996 р.

146. 35. 534

Дисертацією є рукопис  
Робота виконана у Дніпродзержинському  
державному технічному університеті

Науковий керівник -  
доктор технічних наук, професор,  
академік АНУ, заслужений діяч  
науки та техніки України

ОГУРЦОВ  
Анатолій Павлович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,  
академік АНУ

ІСАЄВ  
Євген Ілліч

кандидат технічних наук, доцент

ПРОНСЬКИЙ  
Леонід Іванович

Провідне підприємство:

Акціонерне товариство

«Новокраматорський машинобудівний завод»

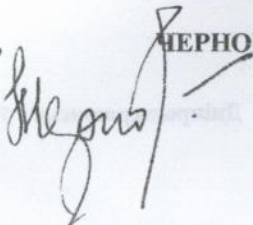
Захист відбудеться "19" листопада 1996р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 37.01.01 Дніпродзержинського державного технічного університету за адресою: 322618, м.Дніпродзержинськ, вул.Дніпробудівська, 2

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Дніпродзержинського державного технічного університету

Автореферат надіслано "15" лютого 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук,  
професор

ЧЕРНОВ М.М.



ЛНБ України ім.В.Стефаника



00760099 (V)

AB - 35, 834

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність роботи та ступінь її вивчення

Основними завданнями промисловості України у теперішній час є задоволення потреб народного господарства у високоякісній конкурентноздатній продукції. Відповідно до стратегії розвитку чорної металургії, спрямованої на підвищення техніко-економічних показників виробництва, ставляться більш високі вимоги до якості виливків та зливків.

Одним з основних засобів розв'язання проблеми підвищення якості литих виробів, з умовою одночасного зниження витрат енергії та матеріалів, є перехід до більш прогресивних технологій, у тому числі і лиття у металеві форми. Це різко підвищує продуктивність праці, знижуються припуски на обробку, підвищуються службові якості виливків та зливків. Доля виливків, які отримуються відливою у металеві форми постійно зростає.

Аналіз існуючих засобів відливання великогабаритних зливків та виливків дав змогу встановити, що основними негативними властивостями технології лиття у металеву форму є велика хімічна та структурна неоднорідність литих виробів, підвищена схильність виливків до утворення тріщин.

Якість зливків та виливків у значній мірі пов'язана з явищами, які відбуваються у розплаві до його твердіння та під час переходу металу з рідкого стану у твердий. У цей період проходить формування фізичної, хімічної та структурної неоднорідності у твердіючих сплавах, які практично не змінюються під час подальшої обробки литих виробів. Із збільшенням маси зливків та виливків значно зростають труднощі експериментального вивчення процесів гідродинаміки та теплопереносу під час їх твердіння. У цьому випадку все більше значення набувають комплексні методи дослідження з застосуванням математичного та експериментального моделювання, методів металографічного та хімічного аналізу виливків.

Завдання підвищення якості зливків та виливків при відливанні у металеві форми обґрунтовує доцільність подальших досліджень та розробки раціональних режимів заповнення ливарних форм, визначення параметрів твердіння виливків у металевій формі.

### Ціль роботи

Розробка та освоєння нових технологічних процесів виробництва великогабаритних виливків (у тому числі і біметалевих) під час відливання у металеву форму, які забезпечують підвищення їх експлуатаційних властивостей при мінімальних матеріальних витратах.

У роботі основним методом дослідження прийнято комплексний метод математичного та експериментального моделювання теплофізичних та гідродинамічних процесів, згідно до спеціально розроблених планів активного та пасивного експериментів. Разом з тим, з ціллю перевірки ре. ультів моделювання цей метод доповнений дослідженням механічних характеристик виливків, аналізом металографічних та хімічних властивостей виливків з застосуванням стандартних методик та обладнання.

ЛНБ ім. В. Степанів  
АН України

### Наукова новизна

Основні положення, які характеризують наукову новизну:

- ⇒ розроблено математичну модель гідродинаміки заповнення форми розплавом з урахуванням вільної поверхні форми під дією зовнішніх сил та процесів теплопереносу при формоутворенні виливка (зливка) з урахуванням теплової взаємодії системи виливок - термічне покриття - металева форма;
- ⇒ розроблено інженерну методiku визначення теплофізичних характеристик матеріалів та сплавів на основі обробки даних експериментів і розв'язання зворотної задачі теплопровідності;
- ⇒ визначено раціональні параметри заливання сірого чавуну у металеву форму при відливанні тюбінгів метрополітенів;
- ⇒ визначено раціональні режими заповнення виливниць під дією відцентрових сил при відливанні двошарових листопркатних валків та оптимальні параметри циклу відливки, які забезпечують якісну робочу поверхню валка;
- ⇒ встановлено раціональні режими отримання злиwkів якісних марок сталей з використанням шлакоутворюючого матеріалу у вигляді стержня, який виплавляється; отримані критеріальні співвідношення, які дають змогу визначити параметри шлакового стержня при відливанні злиwkів сифоном.

### Автор вносить на захист:

- ◆ математичну модель та алгоритм розрахунку процесів гідродинаміки заповнення та твердіння злиwkів (вилиwkів) у виливницю;
- ◆ інженерну методiku визначення теплофізичних характеристик металів та сплавів;
- ◆ результати комплексного дослідження по визначенню раціональних режимів отримання чавунних тюбінгів, двошарових валків та злиwkів у металевих формах;
- ◆ розроблені нові технологічні процеси лиття тюбінгів у металеву форму та відцентрове відливання двошарових валків;
- ◆ нову технологію отримання великих злиwkів якісних марок вуглецевих та низьколегованих сталей при розливанні сифоном з використанням шлакоутворюючих стержнів.

### Практична цінність роботи:

- ◇ у результаті проведених досліджень визначені параметри ливникової системи для відливання тюбінгів у металеву форму; підібрана відповідна кокільна фарба для запобігання відбілу поверхні виливка та забезпечення потрібної межі міцності виробів;
- ◇ визначені оптимальні технологічні режими відливання валків для листопркатних станів відцентровим способом, які дозволяють отримати необхідну глибину та твердість робочої поверхні;
- ◇ визначені раціональний склад та параметри шлакового стержня при отриманні великогабаритних злиwkів. Промислове випробування показало значне підвищення якості злиwkів, зниження головної обрізі, зменшення ліквіації та пористості та поліпшення структури зливка.

Результати роботи пройшли дослідно-промислову перевірку і впроваджені на Лутугінському об'єднанні по виробництву валків, Дослідному заводі НДІМехчормет та Дніпровському металургійному комбінаті. Результати роботи впроваджені також в учбовий процес на металургійному факультеті при читанні лекцій та проведенні практичних занять з курсів “Моделювання та оптимізація процесів у ливарному виробництві”, “Розливка та кристалізація сталі”. Економічний ефект, отриманий при впровадженні складає на експериментальному ливарному виробництві НДІМехчормет 111 тис.крб в 1988 р. та на Лутугінському об'єднанні по виробництву валків 1090 тис.крб в 1992 р.

### **Апробація роботи**

Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Зональній науково-технічній конференції “Використання ЕОМ для розробки технологічних процесів лиття, проектування оснастки та аналіза якості виливок” (м.Ярославль, 1987 р.), IV науково-технічній конференції “Автоматизація проектування та управління якістю виливок” (м.Санкт-Петербург, 1991 р.), Міжнародній науково-технічній конференції “Тепломасообмін та гідродинаміка у турбулентних течіях” (м.Алушта, 1992 р.), VIII міжнародній науково-технічній конференції “Теорія та практика киснево-конвертерних процесів” (м.Дніпропетровськ, 1994 р.).

### **Публікації**

За матеріалами дисертації опубліковано 11 друкованих робіт.

### **Обсяг та структура роботи**

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти глав, заключення, списку літератури з 180 найменувань та додатку.

## **ЗМІСТ РОБОТИ**

### **Вибір об'єкту та методології дослідження**

Зростаюча популярність процесу лиття у металеву форму обумовлена низкою чітко виражених переваг перед традиційними способами виготовлення виливків. Головні з них стосуються до ефективності процесу лиття та якості литих виробів. Підвищення ефективності пов'язано з такими особливостями лиття у металеву форму, як багатократність використання форм та скорочення циклу відливки заготовок.

Актуальною проблемою є визначення номенклатури виливків та зливків для переводу на кокільне лиття, у першу чергу великогабаритних заготовок.

Зливки трубної сталі, двошарові листопркатні валки та чавунні тьюбінги є характерними представниками виливків, які доцільно отримувати литтям у кокіль (табл.1).

Таблиця 1

Основні характеристики заготовок, які отримують  
литтям у кокіль

Наменування	Сплав	Габарити, мм	Характерний розмір, мм	Маса, кг	Обсяг випуску, тис.т/рік
Зливки трубної сталі	10...45 Дтр	2460 x 700 x780	375	7700	3000.0
Листопркатні двошарні валки	СЧ + легований чавун	5100 x Ø800	400	15500	20.0
Тюбінги метрополітенів	СЧ20	1000 x 460 x 200	14	250	50.0

Незважаючи на неоднаковість виливків за вагою, технологією виготовлення, видом сплавів вони мають спільні риси:

- теплові та гідродинамічні процеси, які проходять під час заливання форм рідким металом та його наступного твердіння, істотно впливають на хід формування виливка, щільність та однорідність литого металу;
- умови кристалізації заготовок мають однакову фізичну природу та в значній мірі залежать від теплофізичних та геометричних параметрів кокільної форми.

Вибір методики дослідження:

Теплові явища у багатьох випадках визначають службові та технологічні властивості виливків (зливків). Одним з економічних та ефективних методів дослідження процесів лиття є комплексне математичне та фізичне моделювання. Теоретичні основи математичного моделювання гідродинамічних та теплофізичних процесів розроблені досить повно.

До недоліків існуючих моделей процесів лиття належать спрощення реальної гідродинамічної картини на початкових етапах заливання, а також відсутність методів моделювання заповнення тонкостінних великогабаритних виливків. Відсутні методи розрахунку гідродинамічних процесів відцентрового лиття з урахуванням руху вільної поверхні розплава.

Багато питань оптимізації теплових режимів та конструктивних параметрів стосовно до розливання зливків у виливниці, отримання тонкостінних виливків та відцентрового лиття зливків потребують корекції та уточнення.

Існуючі методи визначення теплофізичних властивостей сплавів та матеріалів досить складні і потребують використання спеціальних лабораторних установок.

У зв'язку з цим сформульовано такі завдання роботи:

- ♦ розробка інженерної математичної моделі теплофізичних та гідродинамічних процесів лиття у кокіль зливків, які отримують стаціонарним та відцентровим способами, великогабаритних тонкостінних виливків;

- ◆ дослідження теплових та гідродинамічних процесів з урахуванням вільної поверхні рідкого металу при заповненні та твердінні великих виливків та зливків;
- ◆ визначення раціональних режимів заливання великогабаритних зливків та виливків, які забезпечують зниження тріщиноутворення та дефектів у виливку;
- ◆ побудова інженерних моделей визначення оптимальних технологічних параметрів процесу лиття у кокілї;
- ◆ розробка інженерної методики визначення теплофізичних властивостей сплавів та композитних матеріалів.

### Методика моделювання процесів лиття у кокілї

Дослідження руху рідкого металу з вільною поверхнею реалізується на основі модифікованого варіанта методу маркерів, при цьому рідкий метал розглядається, як ньютонівська рідина, яка не стискується. Основні рівняння, які описують течію рідкого металу у наближенні Буссінеска та процесів теплообміну при охолодженні та твердінні виливка, у тензорній формі мають вигляд

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{r^k} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r^k \cdot u^2) + \frac{\partial}{\partial z} (u \cdot v) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial r} + \mathcal{G}_{\text{эф}} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r^k} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r^k \cdot u) \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + F_r; \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{r^k} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r^k \cdot u \cdot v) + \frac{\partial}{\partial z} (v^2) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \mathcal{G}_{\text{эф}} \cdot \left[ \frac{1}{r^k} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r^k \cdot \frac{\partial v}{\partial r}) + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + F_z; \quad (2)$$

$$\frac{1}{r^k} \cdot \frac{\partial (r^k \cdot u)}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0; \quad (3)$$

$$C \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (u \cdot T)}{\partial r} + \frac{\partial (v \cdot T)}{\partial z} \right) = \frac{1}{r^k} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r^k \cdot \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right); \quad (4)$$

де  $u, v$  - складові вектора швидкості;  $\bar{P}$  - нормований тиск;  $r, z$  - просторові координати;  $k$  - вид системи координат ( $k=0$  - декартові,  $k=1$  - циліндричні);  $\nu_{\text{эф}}$  - ефективний коефіцієнт в'язкості;  $C$  - питома теплоємність;  $\lambda$  - теплопровідність;  $T$  - температура;  $F_r, F_z$  - складові вектора зовнішніх сил.

При стаціонарному способі лиття  $F_r=0$ , при відцентровому литті  $F_r=\omega^2 \cdot r$ , де  $\omega$  - кутова швидкість обертання рідкого металу у формі. Для визначення величини  $\omega$  система рівнянь (1..4) доповнюється новим рівнянням

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot \omega \cdot u) + \frac{\partial}{\partial z} (\omega \cdot v) = \nu_{\text{эф}} \left[ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial \omega}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right] \quad (5)$$

Вертикальна складова вектора зовнішніх сил набуває значення:

$$F_z = \begin{cases} -g; \\ -g \cdot (1 + \beta \cdot (T - T_{ог})); \\ -g + g \cdot \beta \cdot (T - T_{ог}) + g \cdot \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_m}\right) \cdot S; \end{cases} \quad (6)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння;  $\beta$  - коефіцієнт об'ємного температурного розширення;  $T_{ог}$  - температура нульової рідкотекучесті металу;  $\rho_c$  - густина неметалевих вкраплень у металі;  $\rho_m$  - густина рідкого металу;  $S$  - об'ємна доля неметалевих вкраплень у розливі. У співвідношенні (6) використано наближення Буссинеска, що густина рідкого металу відхиляється від свого середнього значення лише внаслідок температури або наявності в середовищі металу неметалевих вкраплень.

Теплопередача у двофазовій зоні та у твердому металі описується рівняннями типу (4), але у відсутності конвективних складових переносу тепла ( $w=v=0$ ). Виділення теплоти фазового переходу  $L$  під час твердіння рідкого металу в інтервалі ліквідус  $T_L$ - солідус  $T_S$  враховується ефективною теплоємністю

$$C_{эф} = \frac{\int_{T_S}^{T_L} C(T) \cdot dT + L}{T_L - T_S} \quad (7)$$

В основу чисельної реалізації рівнянь переносу імпульса (1...3,5) покладена явна схема розщеплення за фізичними факторами О.М.Білоцерковського з використанням "шахової" сітки. Для визначення конфігурації вільної поверхні одночасно з нерухомою ейлеровою сіткою, в якій визначаються перемінні ( $P, u, v, T$ ) використовуються лагранжова сітка дискретних часток-маркерів. Згідно до методу маркерів частки розподіляються не тільки на поверхні, але й в усьому об'ємі. Маркери рухаються з швидкістю, яка обчислюється за допомогою інтерполяції між значеннями локальної швидкості середовища у сусідніх комірках ейлерової сітки. Для виконання умов балансу маси надходження металу в об'єм форми кількість маркерів визначалася попередніми розрахунками. Ефект "зникнення" маси в об'ємі металу, властивий методу маркерів, було усунено спеціальним "перерахунковим" алгоритмом. Рівняння теплового стану апроксимується за трьохшаровою перерахунковою схемою М.І.Никитенка.

На основі цього алгоритму розроблено комплекс програм на алгоритмічній мові Турбо Паскаль версії 6.0.

Розроблена математична модель дозволила визначити параметри твердіння та охолодження виливка, що в свою чергу дозволило визначити структурні зони виливка, його механічні характеристики, та схильність виливка до утворення тріщин.

Оцінка достовірності та перевірка адекватності математичної моделі проводилася зіставленням розрахункових даних з відомими аналітичними рішеннями та проведеними експериментами у промислових та лабораторних умовах.

На процеси заповнення та твердіння металів у значній мірі впливають їх теплофізичні властивості. За літературними даними теплопровідність та теплосмність одних і тих самих матеріалів і сплавів можуть коливатися у межах 15...40%. Тому для більш точного визначення коефіцієнта температуропровідності розроблена досить проста інженерна методика. У піч типа Таммана встановлюється тигель з матеріалом, який досліджується та трьома термопарами по перерізу зразка. При нагріванні зразка фіксуються температурні поля у центрі, на поверхні та у деяких проміжних точках зразка. Визначення теплофізичних параметрів  $C, \rho, \lambda$  ґрунтується на розв'язанні такої задачі про нагрівання зразка у печі

$$C_V \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \left( r \cdot \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right); \quad (8)$$

$$T(r, 0) = T_0; \quad (9)$$

$$T(R, \tau) = \varphi(\tau); \quad (10)$$

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} = 0 \quad (11)$$

Тут співвідношення (9) встановлює рівномірний розподіл температур по перерізу зразка. У рівнянні (10) задається закон зміни температури на поверхні зразка  $\varphi(\tau)$ , отриманий у результаті проведеного експерименту. З рівнянь (8...11) визначалася температурна функція  $T(r, \tau)$ , яка задовольнила б таким умовам

$$\eta = \left( \sum_{i=1}^k |T^e(r_i, \tau_i) - T^p(r_i, \tau_i)|^2 \right)^{0.5} \leq \delta, \quad (12)$$

де  $T_e, T_p$  - значення температур, визначених експериментально та розрахунковим шляхом для координати точки  $r_i$  у момент часу  $\tau_i$ ;  $k$  - кількість виділених точок для порівняння з експериментальними даними;  $\delta$  - гранична величина розбіжності.

Розв'язання рівняння теплопровідності (8) проводилося по неявній скінченно-різничній схемі з використанням методу прогонки. Виконання обмеження (12) у процесі розв'язання рівняння теплопровідності являє собою задачу оптимізації підбору відповідних коефіцієнтів поліномів  $\lambda(T) = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2$ ,  $C(T) = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2$ , з метою мінімізації розбіжності  $\eta \rightarrow \min$ . Для визначення оптимізації у багатофакторному просторі використано метод послідовного симплекса з автоматичним вибором кроку переміщення симплекса.

### Дослідження технологічних процесів отримання виливків тубінгів

У країнах СНД та за кордоном тубінгі відливають у разові піщані форми. В умовах обмеженої та постійної номенклатури виливків стає доцільним

використання постійних металевих форм, які дають змогу значно скоротити виробничий цикл, підвищити механічні властивості та якість виливків.

Процес відливання у кокіль характеризується підвищеною швидкістю охолодження, що збільшує вірогідність появи у виливках відбілу, який утруднює механічну обробку. Зниження величини відбілу досягається шляхом нанесення на поверхню кокіля теплоізоляційного покриття. За технічними умовами межа міцності виливків повинна становити 205...240 МПа. Для отримання необхідних механічних характеристик швидкість твердіння за даними структурної діаграми Гиршовича-Баландіна повинна дорівнювати 0,05...0,20 мм/с. Проведена серія розрахункових експериментів при змінах термічного опору фарби від 1,0 до  $1,8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>К/Вт показала, що середня швидкість твердіння лежить у межах 0,20...0,12 мм/с. У випадку збільшення термічного опору покриття більш  $1,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>К/Вт спостерігається довготривале стояння двофазової зони, яке призводить до погіршення структури виливка. Тому за основу прийнята кокільна фарба з термічним опором у межах  $1,1...1,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>К/Вт. На практиці була використана двохшарова фарба на основі сажі МП-15, змочувача ОП-7 та рідкого скла з ефективним коефіцієнтом теплопровідності 0,420 Вт/(мК) та товщиною нанесення 0,4...0,5 мм (теплопровідність фарби визначалася за даними замірів температур та розв'язання зворотної задачі теплопровідності).

Не менший вплив на характер протікання процесів формування виливків має тривалість заповнення металом форми.

У результаті розрахунків параметрів ливникової системи за методикою Г.М.Дубицького встановлено, що тривалість заповнення порожнини форми становить 9,1 с і сумарна площа перерізу живильників  $78,8 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Дослідне відливання тюбінга при тривалості заливання 10 с показала, що у місці стиків спинки тюбінга з ребрами жорсткості виникали гарячі тріщини, що пов'язано з нерівномірним характером твердіння тонких та товстих частин. Рациональним засобом вирівнювання градієнта температур по перерізу виливка є варіювання тривалості заливання. У розрахунках час заливання приймається від 10 до 40 с при відповідних перерізах живильників від  $78,8 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> до  $19,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. З точки зору умов заповнення найбільш спокійним є варіант заливання з тривалістю 40 с. Однак, як показали розрахунки, метал при  $\tau_{зал} = 40$  с не заповнить до кінця форму, внаслідок "перемерзання" каналу у тонкій частині виливка. Аналіз градієнтів температур по перерізу виливка показав, що їх мінімальні значення спостерігаються при тривалості заповнення кокіля 30...35 с.

Результати експериментальних відливань (табл.2) повністю підтвердили розрахункові дані.

Таблиця 2

Результати експериментальних відливань тюбінгів

Переріз живильника, $\cdot 10^{-4}$ м <sup>2</sup>	Тривалість заливання, с	Відліто тюбінгів		
		всього, шт	у т.ч. брак шт.	%
78,4	10...13	7	7	100,0
42,5	20...23	2	2	100,0
36,5	25...28	2	2	100,0
27,2	30...35	12	1	8,3

Непіддатливість металевої форми перешкоджа вільній усадці металу виливка, викликаючи створення в ньому гарячих тріщин. Теоретично розкриття форми треба виконувати на етапі передусадочного розширення. Визначення часу утримання у закритій формі  $\tau$  в залежності від температури заливання  $T_{зал}$ , початкових температур металевого стержня  $T_{ст}$  та кокіля  $T_k$  проводилося на основі повного факторного експерименту  $2^4$  за такою залежністю

$$T = F(T_{зал}, T_{ст}, T_k, \tau), \quad (13)$$

де  $T$  - середньомасова температура фланця виливка.

Лінійне рівняння у кодованому масштабі має вигляд

$$T = 1019,6 + 3,3 * X_1 + 8,2 * X_2 + 5,8 * X_3 - 94,6 * X_4 + 2,0 * X_2 * X_4 + 1,8 * X_3 * X_4, \quad (14)$$

де  $X_1, X_2, X_3, X_4$  - температура заливання, початкова температура стержня, початкова температура кокіля та час утримання відповідно.

Проведений аналіз рівняння (14) дозволив встановити час утримання виливка у закритій формі до досягнення середньомасової температури виливка 1040...1050 °С у межах 135...140 с в залежності від температури заливання 1260...1280 °С та початкових температур кокіля  $T_{ст}=220$  °С,  $T_k=250$  °С. Проведені експерименти підтвердили, що при меншому утриманні на радіальних фланцях при їх основі спостерігалися напливи незатвердлого металу.

На основі проведених досліджень була розроблена технологія і відлито декілька партій тюбінгів. Результати стендових випробувань кільця з тюбінгів відлитої у кокіль, подані у табл. 3. Після першого експеримента на стенді були внесені зміни у конструкцію тюбінга у бік збільшення товщини ребер жорсткості.

Таблиця 3

Результати випробувань на міцність  
кільця тюбінгів

№/№	Діаметр кільця, мм	Потрібне навантаження по ТУ 348-401-89, кН/м <sup>2</sup>	Фактично витримане навантаження, кН/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт запасу
1	5490	600	840	1,40
2	5490	600	1720	2,87
3	5490	600	1560	2,60
4	6000	600	1600	2,46
5	6000	600	1680	2,58

Таким чином стендові дослідження показали, що нова конструкція тюбінгових кілець за механічними характеристиками у 2,6 раза перевищує потрібне навантаження і повністю відповідає умовам використання їх при будівництві перегонних тоннелей метрополітенів.

### Удосконалення технологічних параметрів отримання двошарових листопрокатних валків

У теперішній час найбільш досконалим способом виготовлення прокатних валків є відцентрове лиття. Виготовлення відцентрових двошарових валків дозволяє знизити витрати металу до 40...50%, у тому числі легуючих елементів.

Використання у практиці відцентрового лиття кокільних фарб з невисоким термічним опором  $R_t=(0,9...1,0)*10^{-3} \text{ м}^2\text{К/Вт}$  дозволяє отримати валки з високою якістю відбіленого робочого шару. Для отримання рівномірних умов теплопроводу у системі виливок-кокіль і зниження градієнта температур по висоті бочки валка використана нова конструкція рухомої ливникової системи. Визначення раціональної швидкості підйому ливникової системи і кількості проходів ливникової труби ( $K_{np}$ ) вздовж бочки валка виконувалася з використанням обчислювальних експериментів. Встановлено, що заливання з  $K_{np}=1,5$  забезпечує досить рівномірний розподіл температур по висоті бочки валка. При цьому торці бочки мають більш низькі температури (1212...1216 °С) у порівнянні з центром бочки валка (до 1260...1290 °С). З точки зору експлуатаційних властивостей валка це найсприятливіший варіант відливання, тому що забезпечує більш високу швидкість охолодження торців валка, які зазнають найбільших навантажень під час прокатки.

Відливання валків при обмеженій частоті обертання (450 об/хв) та кількості проходів ливникової системи  $K_{np}=1,5$  призводить до отримання різної товщини вільної поверхні до 20 мм по висоті бочки кокіля. Результати дослідження кінетики наростання литої кірки показують, що різниця її товщини по висоті валка становить до 12 мм на момент заливання другого шару чавуну. Заливання другої порції металу призводить до підплавлення затверділої кірки та забезпечує вирівнювання фронту твердіння та зменшення різновтовщинності до 2...3 мм. Таким чином ці дані суперечать уявленням, які були раніше про відливання протяжних циліндричних виробів на машинах з вертикальною віссю обертання при обертах не менше 1000 об/хв.

Аналіз експериментальних виливків двошарових валків показує, що утворення тріщин на поверхні валків відбувається під час охолодження робочого шару на момент заливання порції металу, який формує перехідну зону. Одним з основних параметрів, які в значній мірі визначають умови твердіння та охолодження виливка, є температура заливання  $T_z$ , початкова температура кокіля  $T_k$  та час витримки  $\tau_b$  до заливання металу іншого хімічного складу. Для визначення впливу основних технологічних факторів на нарощування литої кірки  $\xi$ , температури металу на вільній поверхні  $T_{n1}$  та в місці контакту виливка з кокілем  $T_{n2}$  - використано метод планування експериментів за ортогональним центральним композиційним планом 2-го порядку. Результати розрахунку отримані у вигляді

$$\{Y\} = a_0 + a_1 * T_z + a_2 * T_k + a_3 * \tau_b + a_{12} * T_z * T_k + a_{13} * T_z * \tau_b + a_{23} * T_k * \tau_b + a_{11} * T_z^2 + a_{22} * T_k^2 + a_{33} * \tau_b^2, \quad (15)$$

де  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{33}$  - розрахункові коефіцієнти регресії (табл.4);

$\{Y\}^T = \{\xi, T_{n1}, T_{n2}\}$  - функції виходу: товщина литої кірки, температура на вільній поверхні металу, температура металу у зоні контакту виливка і кокіля відповідно.

Таблиця 4

Розрахункові значення коефіцієнтів регресії за ортогональним композиційним планом другого порядку

Види функцій $\{Y\}$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_{12}^*$ $10^{-4}$	$a_{13}^*$ $10^{-4}$	$a_{23}^*$ $10^{-4}$	$a_{11}^*$ $10^{-4}$	$a_{22}^*$ $10^{-4}$	$a_{33}^*$ $10^{-4}$
$\xi$	943.1	-1.522	-0.164	1.042	1.477	-9.591	-3.177	6.317	0.991	5.938
$T_{n2}$	3476.5	-4.761	-0.109	0.112	1.582	-7.793	-11.23	17.308	3.613	18.219
$T_{n1}$	-1513.6	3.074	0.089	-3.790	-1.580	35.368	7.395	-14.526	-1.720	-24.247

Для визначення оптимального часу витримки між заливанням робочого шару і другого шару, що формує перехідну зону, вибрано критерій оптимізації у вигляді функціоналу, який визначає максимальну глибину відбілу при умові мінімального градієнта температур по перерізу робочого шару

$$F = \int_0^{\tau_k} (b_1 \cdot (T_s - T_{n2}) - b_2 \cdot \xi - b_3 \cdot (T_{n1} - T_s)) \cdot dt, \quad (16)$$

де  $b_1, b_2, b_3$  - вагові коефіцієнти;  $\tau_k$  - загальний час витримки з урахуванням часу заливання.

Мінімізація функціоналу  $F$  проводилася за методом золотого перерізу з використанням залежностей (15), за вільний параметр вибрано час витримки  $\tau_k$ . За результатами розрахунків побудована інженерна номограма оптимального часу витримки металу до наступного заливання у залежності від початкової температури кокіля та температури заливання (мал.1). Аналіз показав, що найбільш сприятливим фактором, який знижує температурні градієнти по перерізу робочого шару валка є підвищення початкової (перед заливанням) температури кокіля до 180...200°C.

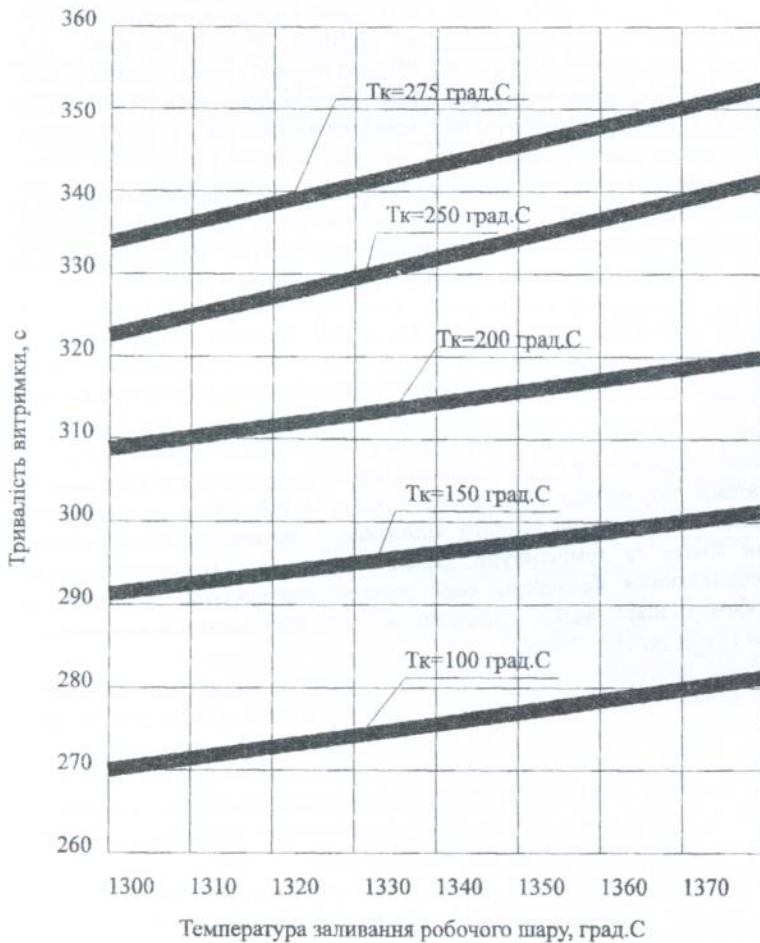
На основі проведених досліджень було уточнено параметри відливання двошарових валків з нанесенням тонкого шару кокільної фарби з термічним опором  $R_t = (1,0 \dots 1,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$ . Використання номограм визначення часу витримки між заливками порції металу на стадії формування робочого шару та раціональних режимів заливання через рухома ливникову систему з кількістю проходів вздовж бочки валка рівним  $K_{np} = 1.5$  дозволило практично повністю усунути брак по тріщинах та розшаруванню.

Дослідна партія відцентрових валків відлита за розробленою технологією поставлена на два широкополосних стана "2000" Череповецького та Новолипецького комбінатів. Оцінку якості виготовлених валків проводили за умовною зносостійкістю

$$Y_{\text{впу}} = \frac{\sum M_{\text{ст}}}{D_{\text{н}} - D_{\text{к}}}, \quad (17)$$

де  $M_{\text{ст}}$  - маса прокатаного металу, т;  $D_{\text{н}}$ ,  $D_{\text{к}}$  - початковий та кінцевий діаметр валка відповідно до та після експлуатації, мм.

Номограма визначення оптимального часу витримки робочого шару валка до заливання шару сірого чавуну



Мал.1

Результати експлуатації відцентрових валків подані у табл.5. Експлуатаційні характеристики відцентрових валків за умовною зносостійкістю (т/мм) виявилися вище валків, відлитих у стаціонарні форми, у середньому на 200...300%. Відливка валків з використанням тонкого шару кокільної фарби дозволила збільшити у 2...2,5 раза глибину робочого шару та забезпечити більші можливості для переточування валків у межах конструкції стана.

Таблиця 5

Експлуатаційні характеристики валків						
Виготовлювач, стан	Розміри бочки валка, мм	D <sub>вн</sub> , мм	D <sub>зн</sub> , мм	M <sub>ст</sub> , тис.т	Кількість установок	У <sub>вн</sub> , т/мм
<b>Стаціонарні валки</b>						
ЛОПВ, стан НЛМК	800x2000			299	32	1780
				318	27	2210
				280	18	1890
<b>Відцентрові валки</b>						
ЛОПВ, стан НЛМК  стан ЧерМК, (АО "Северсталь")	800x2000	814	790	130	52	5603
		802	760	308	52	7454
		810	757	361	56	6835
		809	756	342	53	6528
		812	776	181	18	5114
		805	774	174	29	5604

**Дослідження формування сталевих зливків при розливанні сифоном з використанням шлакоутворюючих стержнів.**

При розливанні сталі у виливниці на поверхні зливків виникає велика кількість дефектів у вигляді бризок, тріщин, завортів та ін. Для захисту рідкого металу від впливу кисню атмосфери та поліпшення умов формування якісної поверхні зливка використовують розливання під шаром шлаку. Основні принципи розливання сталі під шлаками розроблені В.А.Ефімовим. Незважаючи на загальне істотне підвищення якості зливка, нова технологія спричинила підвищену забрудненість донної частини зливка. Це пов'язано з захватом струменем металу, що надходить, шлакоутворюючої суміші, яка потім вморожується у корковому шарі зливка. На основі аналізу існуючих технологій вводу шлакоутворюючих сумішей, а також методів впливу на процес кристалізації сталевих зливків А.П.Огурцовим запропоновано новий спосіб вводу рафінуючого шлаку у вигляді литого стержня. Цей спосіб полягає у тому,

що перед розливанням металу по осі виливниці встановлюється шлаковий стержень. У процесі наповнення виливниці металом стержень відбирає тепло з осьової зони рідкої середини зливка на власний нагрів та плавлення. Під час плавлення стержня відбувається рафінування рідкої сталі спливаючими частками рідкого шлаку. Незважаючи на достатньо великий накоплений матеріал по використанню шлакових стержнів, питання вибору раціональної маси для крупних зливок лишається відкритим.

Матеріал шлакового стержня повинен мати досить низьку температуру плавлення, високу розкислюючу та десульфуруючу здатність; рідкий шлак повинен добре відокремлюватися від металу.

Аналіз відомих складів синтетичних шлаків показав, що найкраще відповідає вище зазначеним критеріям суміш із вмістом  $\text{CaF}_2=10\%$ ,  $\text{CaO}=45\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=45\%$ . Фізичні властивості шлаку, визначені за відомими методиками, подані в табл.5

Таблиця 6

Фізичні властивості рідкого шлаку, який утворюється під час плавлення рафінуючого стержня

Показник	Размірність	Величина
Адгезія шлака до металу	мДж/м <sup>2</sup>	600
Когезія шлаку	мДж/м <sup>2</sup>	820
Вязкість шлаку (T=1500...1550°C)	Па·с	0,3...0,5
Густина шлаку	кг/м <sup>3</sup>	2500...2570
Інтервал температур плавлення	°C	1100...1200

Теплофізичні властивості шлакового стержня у твердому стані були визначені за розробленою інженерною методикою. В результаті обробки експериментальних даних отримані такі рівняння:

$$\lambda_{ш} = 15,6 - 8,645 \cdot 10^{-3} \cdot T, \text{ Вт/мК}$$

$$C_{ш} = 994 - 0,206 \cdot T, \text{ Дж/кгК}$$

$$T \in [20 \dots 900] \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середні значення теплопровідності та теплоємності шлакової суміші дорівнюють відповідно  $\lambda_{ш} = 11,6$  Вт/мК;  $C_{ш} = 899$  Дж/кгК.

Вибір параметрів шлакоутворюючого стержня здійснювався для 8-тонного зливка, який відливали у виливниці марки С-8 в умовах мартеновського виробництва Дніпровського металургійного комбінату.

Для визначення зв'язку між масою стержня  $M_{ст}$ , масою зливка  $M_{сл}$ , температурою заливання  $T_{заль}$ , часом розплавлення  $\tau_{расп}$  та середньою температурою рідкого ядра у зливку  $T_{жя}$  використана функціональна залежність

$$F(M_{ст}, M_{сл}, T_{заль}, \tau_{расп}, T_{заль}, T_{жя}) = 0 \quad (18)$$

Згідно до  $\pi$ -теореми зазначена залежність подана у вигляді чотирьох критеріїв подібності

$$\pi_1 = (M_{ст}/M_{сл}) \cdot 100; \quad \pi_2 = \tau_{расп}/\tau_{заль};$$

$$\pi_3 = (T_{заль} - T_S)/(T_{ог} - T_S); \quad \pi_4 = (T_{жя} - T_S)/(T_{ог} - T_S)$$

Таблиця 7  
Характеристика макроструктури дослідного (зі стержнем) та порівняльного  
(поширеного зверху зливків)

Висота (глибина), мм			Протяжність, мм					
зливка до питомої частини	питомої частини	усадочної раковини	підусадочної ліквациї	плотного "мосту"	осьової V- образної ліквациї	шнурів зональної ліквациї	розміри нижнього конуса	
2150/2145	365/465	145/360	нема/70	230/нема	380/1170	1620/1650	нема чітких границь	
Горизонт в % до висоти зливка	Радіус зливка, мм	Протяжність структурних зон, мм					Відстань від поверхні зливка до 1 шнура зональної ліквациї	
		кірковий	стовбчатих кристалів	неорієнто- ваних кристалів	осьової пористості	кільця зональної ліквациї		
0	330/335	15/10	40/90	280/170	нема/145	30/35	160/190	
10	320/320	15/10	50/80	255/160	нема/150	70/60	170/100	
20	320/315	10/10	45/80	260/160	нема/150	50/80	160/100	
30	315/310	10/10	50/80	250/260	нема/145	20/60	130/150	
40	350/350	10/10	50/80	245/150	нема/140	70/60	130/190	
50	300/300	10/10	50/80	240/130	нема/145	40/70	120/130	
60	295/295	10/10	80/80	250/110	нема/150	70/70	80/140	
70	290/290	15/10	70/90	205/100	нема/140	50/80	110/110	
80	285/287	15/10	70/90	202/-	2/нема	50/50	140/150	
90	280/285	15/-	60/-	210/-	нема/нема	- / -	- / -	

Моделювання процесу було проведено при зміні діаметра стержня від 50 до 300 мм, часу заливання від 420 до 600 с, температури заливання від 1570 до 1600°C.

Обробка результатів з використанням метода найменших квадратів на ЕОМ дозволила встановити значення невідомих коефіцієнтів

$$\begin{cases} \left( \frac{\tau_{\text{расп}}}{\tau_{\text{ал}}} \right) = 3,5950 \cdot \left( \frac{M_{\text{ст}}}{M_{\text{сл}}} \cdot 100 \right)^{0,8795} \cdot \left( \frac{T_{\text{звл}} - T_{\text{с}}}{T_{\text{ог}} - T_{\text{с}}} \right)^{-0,3596} \\ \left( \frac{T_{\text{жж}} - T_{\text{с}}}{T_{\text{ог}} - T_{\text{с}}} \right) = 1,4257 \cdot \left( \frac{M_{\text{ст}}}{M_{\text{сл}}} \cdot 100 \right)^{0,2344} \cdot \left( \frac{T_{\text{звл}} - T_{\text{с}}}{T_{\text{ог}} - T_{\text{с}}} \right)^{0,0636} \end{cases} \quad (19)$$

За даними (19) побудовані залежності тривалості плавлення стержня та температури рідкого ядра у момент розплавлення стержня. Аналіз показує, що при масі стержня більше 3% від маси зливка теоретична температура рідкого ядра нижче 1455°C (температури нульової рідкотекучості сталі).

Отже, маса стержня, який повністю розплавляється у зливку та забезпечує значний охолоджуючий ефект, знаходиться у межах 1,5...3% від маси зливка.

Відливку злиwkів масою 8т спокійного трубного металу з витоплюваним шлаковим стержнем (1,7% від маси зливка) проводили у розширені до верху виливниці С-8. Було відито п'ять дослідних злиwkів, чотири з них були прокатані на трубну заготовку, а з одного було вирізано осьовий темплет, знято сірчаний відбиток та виконано оцінку якості макроструктури. У порівнянні з аналогічним зливком, отриманим за прийнятою у цеху технологією (табл.7), зроблені такі висновки:

- глибина залягання усадочної раковини в два рази менше відносно порівняльного зливку;
- підусадочна ліквация у тілі дослідного зливка практично відсутня, тоді як у звичайному зливку розповсюджується на глибину близько 70 мм від кінця усадочної раковини;
- осьова пористість та V-подібна ліквация на дослідному зливку розвинута дуже слабо і має довжину 380 мм, а на звичайному зливку вона чітко виражена і розповсюджується на глибину 1170 мм;
- майже в два рази знижується протяжність зони стовбчастих кристалів, що свідчить про достатньо швидке зниження градієнта температур по перерізу рідкої фази зливка та переходу до утворення зони рівноосних кристалів.

На основі вищезазначеного можна зробити висновки, що по всім показникам дослідний зливко вигідно відрізняється від звичайного. Отримані результати підтвердили, що випробуваний спосіб використання шлаку у вигляді стержня для рафінування та охолодження рідкого ядра зливка має значні переваги перед існуючим, при цьому із збільшенням маси зливка переваги пропонованого методу будуть зростати.

## Основні результати та висновки:

У процесі розв'язання поставлених у дисертаційній роботі завдань отримані такі основні результати:

1. На основі вивчення особливостей протікання фізичних процесів формування зливків і виливків у кокілях розроблена математична модель, яка враховує умови форми та кристалізаційні процеси. Математична модель описується системою двовірних рівнянь гідродинаміки та теплопереносу з урахуванням вільної поверхні розплаву та змінними за часом граничними умовами. Розроблений алгоритм реалізовано на основі методу скінчених різниць з використанням спеціальних часток-маркерів, які відслідковують вільну поверхню. Розроблена математична модель дозволила визначити параметри твердіння та охолодження виливку, що в свою чергу дозволило визначити структурні зони виливку, його механічні характеристики, та схильність виливку до утворення тріщин.
2. Розроблена методика визначення теплофізичних характеристик матеріалів за температур. Ідентифікація коефіцієнта температуропровідності за експериментальними значеннями температур забезпечує високу точність, вірогідність результатів підтверджена значеннями критеріїв Фішера та Стьюдента.
3. Дослідження теплових та гідродинамічних процесів при відливанні тюбінгів у кокіль дозволило визначити теплофізичні параметри кокільної фарби з величиною термічного опору  $(1.1...1.2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\text{К/Вт}$  для отримання виливків з межею міцності 205...240 МПа; визначена конструкція ливникової системи з перерізом живильника  $(26...27) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  та тривалістю заповнення форми протягом 30...35 с, що забезпечує мінімальні температурні градієнти по перерізу виливка у місцях сполучення тонких та товстих частин; з використанням методу математичного планування експериментів (реалізовано план  $2^4$ ) визначено раціональний час витримки в закритій формі від моменту заливання до вилучення виливку у межах 140...135 с в залежності від технологічних параметрів; визначені цикли роботи кокіля, які дають змогу підтримувати стабільний тепловий режим на автоматизованих установках, встановлено, що після першої заливки технологічний цикл становить 18...19 хв, а потім теплова робота кокіля перебуває у стаціонарному режимі, та його цикл становить 38...40 хв.
4. З використанням результатів чисельного моделювання розроблена технологія відливання тюбінгів у кокіль. Проведені стендові дослідження міцності кілець з чавунних тюбінгів показали, що вироби мають необхідний запас міцності, яка в 2.6 раза перевищує розрахункове навантаження і відповідає умовам використання їх при будівництві перегонних тунелей метрополітену.
5. На основі проведених досліджень з використанням математичної моделі розрахунку гідродинамічних та теплових процесів уточнено технологічні параметри лиття чавунних двошарових прокатних валків на відцентровій машині з вертикальною віссю обертання:  
- вперше у вітчизняній практиці показана та теоретично підтвержена

можливість отримання практично циліндричного робочого шару при параболічній формі вільної поверхні;

-розроблено принципово новий режим заливання з підйомом ливникової системи, що забезпечує запобігання утворенню гарячих тріщин при відливанні у кокіль з термічно тонким пофарбуванням та високим рівнем теплообміну. Встановлено, що при масових витратах металу з швидкістю заливання 60 кг/с та термічним опором кокільної фарби  $R_t = (0.9 \dots 1.0) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\text{К/Вт}$  кількість проходів ливникової системи вздовж бочки валка повинна становити  $K_{\text{пр}} = 1.5$ ;

- розроблена інженерна номограма визначення часу витримки між заливками робочого та буферного шару, яка дозволяє спільно з новим режимом заливання практично повністю запобігти утворенню тріщин, забезпечити гарантовану зварювальність шарів та максимальну глибину відбілу. Зроблено висновок про те, що найбільш сприятливим фактором, який знижує температурні градієнти по перерізу робочого шару валка, є підвищення початкової температури кокіля до 180...200°C.

6. Експлуатація відлитих валків показала, що за умовною зносостійкістю відцентрові вилки перевершують валки стаціонарного лиття у 2...3 рази.
7. Одним з найбільш ефективних засобів впливу на зливок, який кристалізується, з ціллю його охолодження та рафінування є використання розтоплованих шлакоутворюючих стержнів. Запропоновано новий склад легкоплавкої шлакоутворюючої суміші, яка складається з 10%  $\text{CaF}_2$ , 45%  $\text{CaO}$ , 45%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Визначені теплофізичні параметри суміші запропонованого складу:  $\lambda_{\text{ш}} = 11.6 \text{ Вт/мК}$ ,  $C_{\text{ш}} = 899 \text{ Дж/кгК}$ .
8. З використанням фізичного моделювання та чисельних експериментів отримані критеріальні співвідношення часу плавлення та температури рідкого ядра зливків у залежності від маси стержня. Встановлено, що маса стержня повинна знаходитися у межах 1.5...3% від маси зливка.
9. Проведені промислові дослідження по відливанню зливків у розширені вгору виливниці з стержнем 1.7% від маси зливка в умовах мартенівського виробництва Дніпровського металургійного комбінату. Відмічено, що стержень запропонованого складу повністю витоплюється у процесі кристалізації зливка. Якість макроструктури дослідних зливків виявилася значно вищою зливків, які отримуються за звичайною технологією.
10. Економічний ефект, отриманий від впровадження, склад на експериментальному ливарному виробництві НДМехчормет 111.15 тис.крб. у цінах за станом на 01.01.88р., та на Лутугінському об'єднанні по виробництву валків 1090.07 тис.крб у цінах за станом на 31.12.92 р.

### **Основні положення дисертаційної роботи викладені у друкованих роботах:**

1. Будагьянц Н.А., Огурцов А.П., Миленький И.А., Балаклеец И.А. Оптимизация технологических параметров центробежного литья двухслойных валков// Литейное производство, 1994, №4. -С.24

2. Миленский И.А., Горбунов А.Д., Филиппов В.С. Исследование тепловых процессов при отливке тьюбингов в кокильных установках с испарительным охлаждением// IV научно-техническая конференция "Автоматизация проектирования и управления качеством отливок": Тез.докл. - Санкт-Петербург. - 1991. - С.49-52
3. Огурцов А.П., Миленский И.А., Самохвалов С.Е., Губарев И.В. Математическая модель гидродинамики начального этапа заполнения изложницы сифоном// Изв.вузов Черная металлургия, 1993, №7. - С.23-26.
4. Самохвалов С.Е., Миленский И.А. Консервативный эйлеров метод численного исследования динамики свободной поверхности жидкости/ Тепломассообмен и гидродинамика в турбулентных течениях: Тез.докл. - Алушта. - 1992. - С.124-125.
5. Исследование процессов получения слитков трубной стали с применением шлакообразующих стержней/ А.П.Огурцов, И.А.Миленский, А.В.Момот и др. // Тез.докл. VIII международной научно-технической конференции "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов" - Днепропетровск. - 1994. - С.131-132.
6. Оптимизация тепловой работы промежуточного ковша МНЛЗ с использованием методов численного моделирования/ А.П.Огурцов, И.А.Миленский, А.В.Гресс и др.// Тез.докл. VIII международной научно-технической конференции "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов" - Днепропетровск. - 1994. - С.82-83.
7. Определение теплофизических характеристик сплавов и композитных материалов при высоких температурах/ А.П.Огурцов, И.А.Миленский, А.В.Гресс и др.// Юбилейный сборник научно-технических трудов (1920-1995). - Днепродзержинск, ДГТУ, 1995. - С.5-10.
8. Исследование теплового состояния металла при отливке двухслойных валков центробежным способом/ Н.А.Будагьянц, А.П.Огурцов, Л.Б.Гольдштейн, И.А.Миленский и др.// Изв.вузов Черная металлургия. 1994. -№11.-С.48-51.
9. Исследование тепловых процессов при затвердевании отливки тьюбинга в кокиле/ А.П.Огурцов, И.А.Миленский, А.Д.Горбунов и др. - Днепродзержинск, 1994. - 16 с. - Деп. в УкрНИИНТИ. - № 1635-Укр94.
10. Численный метод расчета заполнения формы и теплообмена расплава под действием центробежных сил/ А.П.Огурцов, И.А.Миленский, С.Е.Самохвалов// Инженерно-физический журнал, 1995, т.68.-№4.-С.678-686.
11. Заявка №4937616/02/024279. Форма для чугунного литья двухслойных чугуновых валков/ Н.А.Будагьянц, Л.Б.Гольдштейн, И.А.Балаклеец, И.А.Миленский. Положительное решение от 21.08.91.

## АННОТАЦИЯ

Миленький И.А. "Совершенствование технологии получения и повышение качества крупногабаритных отливок (слитков) при литье в кокиль". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02. "Металлургия черных металлов". Днепродзержинский государственный технический университет Минобразования Украины, Днепродзержинск, 1996 г.

Защищаются результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса получения крупногабаритных отливок и слитков в кокиль. Установлены закономерности формирования отливок и слитков, дана количественная оценка протекающих при этом тепловых и гидродинамических процессов. Разработаны технологии получения двухслойных листопрокатных валков, чугунных тубингов, усовершенствована технология получения слитков качественных углеродистых и низколегированных марок сталей. Результаты работы прошли опытно-промышленную апробацию на Лутугинском объединении по производству валков, Опытном заводе НИИМсхчермет и Днепровском металлургическом комбинате.

## ANNOTATION

Milenkii I.A. Improvement of the technology receives and rises quality large-size casting (ingots) in the foundry metallic casts. The dissertation for Candidatis Degree (Eng.) speciality 05.16.02. "Ferrous Metallurgy". Dnieprodzerzhinsk State Technical University. Ministry of Education of Ukraine. Dneprodzerzhinsk, 1996.

Results of the theoretical and experimental research of the process the receive large-size casting and ingot in the metallic casts are defended. The regularity of the process form casting and ingot, and the quantative estimation of the hydro-dynamic and heat processes is presented. Technology receives of the two-layer rolled rolls, iron tubings is developed, technology receives ingot quality carbon and low-alloyed stamp steels are given. The results of the work are experiment-manufacturing test at the Lytygino Association for manufacture rolls, Experimental shops NIIMechermet and Dneprovsk metallurgical works.

4832834

Підписано до друку 15.10.96. Формат 60x84 1/6  
Об'єм 0,85 ум.арк. Тираж 100 прим. Зам. №  
Безкоштовно, різнограф ДДТУ  
322618, Дніпродзержинськ, вул. Дніпробудівська, 2

111129

AB. 35.834

**AB 35.834**