

На правах рукопису

ГУБАРЄВ Ігор Володимирович

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СИФОННОГО
РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ ПІД ШЛАКОМ

Спеціальність 05.16.02
Металургія чорних металів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Маріуполь - 1994

АВ 30.720

Робота виконана у Дніпродзержинському державному технічному університеті.

Науковий керівник
доктор технічних наук
академік

Огурцов А.П.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00756601 (P)

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор

Ісаєв Є.І.

кандидат технічних наук, доцент

Тарасюк Л.І.

Провідне підприємство – Криворізький металургійний комбінат "Криворіжсталь"

Захист відбудеться "4" жовтня 1994 р. в 12⁰⁰ годин на засіданні спеціалізованої ради (шифр К.068.03.01) при Приазовському державному технічному університеті за адресою: 341000, м.Маріуполь Донецька обл., пров.Республіки,7. Приазовський державний технічний університет.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Приазовського державного технічного університету

Автореферат був розісланий "3" вересня 1994 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Учений секретар
спеціалізованої ради
доктор тех.наук професор

Н.І. Ревтов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність роботи. Найважливішим етапом сталеплавильного виробництва, який в значній мірі визначає вихід придатного та якість прокату, є розливка сталі. Один з основних напрямків технічного прогресу у цій області є розвиток безперервного розливання сталі, який сприяє збільшенню виходу придатного прокату, підвищенню якості металу, та зменшенню енергетичних затрат на його виробництво.

Однак удосконалення технології розливання сталі у виливниці та кристалізація зливків також дасть змогу значно підвищити ефективність сталеплавильного виробництва та поліпшити якість металопродукції, не збільшуючи капіталовкладень, тим більше, що у найближчі роки кількість сталі, яку розливатимуть у виливниці, буде залишатися ще достатньо високим (металургійні заводи України, Росії та ін.) – більш ніж 70 %.

У світовій практиці нині спостерігається тенденція повернення до сифонного способу розливання металу (металургійні фірми США, деякі фірми Японії, що практикують на виробництві металу, який використовується на виробі відповідального призначення: товстий лист, безшовні труби, поковки і т.ін.), який не є універсальним, розглядається у перспективі як надійний засіб забезпечення високої якості кінцевої металопродукції.

Важливу роль при розливанні сталі сифоном під шлакоутворюючими матеріалами відіграє правильна організація потоків металу (особливо у початковий період розливу), яка виключає фіксацію окремих часток шлаку у корковій зоні нижньої частини зливку, та разом з тим, перешкоджає підмиву останньої.

Однак, незважаючи на безліч публікацій присвячених технології сифонного розливання сталі гідродинамічні особливості відливної зливків під шлаком досліджені у світовій практиці недостатньо, переважно на якісному рівні.

Отже, теоретичне та експериментальне дослідження особливостей гідродинаміки сифонного розливання сталі під шлаком з метою одержання зливка з високою якістю поверхні (особливо в нижній третині) виявляється актуальним в теоретичному та практичному планах.

Цілі та задачі роботи: Створити нову раціональну технологію та обладнання для розливу металу сифоном під шлаком, що дасть

змігу забезпечити високу якість металу, оскільки існуюче обладнання та технологія були спроектовані та випробувані для розливу металу без шлаку, але зараз під час експлуатації не забезпечують необхідної якості зливоків.

Досягнення поставленої у роботі цілі ґрунтується на вирішенні комплексу слідуючих задач:

1. Вивчення особливостей гідродинаміки сифонної розливи сталі під шлаком, закономірностей утворення дефектів, розробка заходів направлених на зниження їх кількості.

2. Визначення оптимальної форми розливочного стакану та раціонального підведення плинного металу у виливницю, та дослідження особливостей поведінки шлакоутворюючої суміші у початковий період її заповнення.

3. Дослідження процесів утворення та росту корки металу в період наповнення виливниці з використанням різних варіантів підведення струменя та варіювання швидкості руху металу на виході з стакану.

4. Визначення раціональної конструкції розливочного пристрою та розробка нової технології розливання металу, що забезпечить отримання зливка високої якості.

5. Освоєння розроблених технічних рішень у промисловості.

Наукова новизна. На основі аналізу переваг та недоліків розливу сталі сифонним способом під шлакоутворюючими сумішами, методами фізичного та математичного моделювання визначена раціональна конструкція розливочного пристрою, що спроектована, виходячи із умов: переріз центральної менше суми перерізів сифонних провідок, а остання – значно менша суми перерізів кінцевих стаканів.

Вперше зроблено висновок про необхідність переходу від замкнутої до розширеної ливникової системи.

Створена математична модель у натуральних перемінних, яка дає змогу легко аналізувати процес твердіння зливу, ще на етапі заповнення виливниці. Використання цієї моделі дозволило отримати нову інформацію по гідродинаміці заповнення як при звичайній, так і при розширеній ливниковій системі.

Запропоновано та випробувано раціональний склад шлакоутворюючої суміші на основі шлаку виробництва металічного марганцю для сифонного розливу металу з підвищеною швидкістю.

Практична цінність та реалізація роботи у промисловості.

Розроблені та впроваджені у виробництво на Дніпровському

металургійному комбінаті нове удосконалене розливочне устаткування (центрові, сифонна проводка, стакани, виливниці) та технологія безнапірного розливу сталі сифоном, що забезпечує істотне зниження швидкості вхідного у виливницю струменя, а це, в свою чергу, зменшує її фонтанування у початковий момент та дозволяє наблизити зону циркуляції до зрізу стакана, зниження захвату суміші металом, в наслідок чого зменшилася забрудненість донної частини зливка неметалічними вкрапленнями (зменшилась металографічна оцінка забрудненості н/в на 0,37 бала); поліпилася якість поверхні трубної та осової заготовок (відбраковка штанг зменшилась на 0,8 % (абс)); з'явилась можливість відливки металу з підвищеними лінійними швидкостями.

Впровадження нової конструкції виливниці С-8А дало змогу знизити витрати виливниць на 3,4 кг/т сталі, в основному за рахунок зниження її матеріалоемкості.

Результати досліджень можуть бути використані на металургійних підприємствах, які відливають спокійний метал у розширені до верху виливниці з прибутковими додатками сифонним способом.

Апробація роботи. Основні матеріали роботи доповідались та обговорювались на Всесоюзній науково-технічній конференції молодих вчених та фахівців "Інтенсифікація металургійних процесів та підвищення якості металу та сплавів" (м.Тула, 1990 р.), на XI-й Всесоюзній конференції по проблемам зливка "Процеси розливки модифікування та кристалізації сталі та сплавів" (м. Волгоград, 1990 р.), на II Всесоюзній науково-технічній конференції за участю іноземних спеціалістів, "Удосконалення металургійної технології у машинобудуванні" (м. Волгоград, 1991 р.).

Об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, 4 глав, заключення, списку літератури із 133 найменувань, додатку, містить 127 сторінок машинописного тексту, 40 рисунків, 27 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

I. Сучасний стан питання сифонної розливки шлакоутворюючими матеріалами.

В останній час широке розповсюдження отримала сифонна розливка сталі під шлакоутворюючими сумішами різного складу. Сюди слід віднести і швидкоплавкі екзотермічні суміші і повільноплавкі, і теплоізолюючі суміші, які підплавляються.

Використання сифонної розливки металу під шлаком дозволило

практично повністю ліквідувати її основний дефект – загин корки, через те що у цьому випадку корка на дзеркалі металу вона звичайно не утворюється. Крім цього, значне зниження вторинного окислення металу (дзеркало ізольовано), асиміляція плинним шлаком спливаючих у сталі неметалічних вкраплень, зниження термічних та усадочних напруг у корковому шарі зливка завдяки наявності шлакової оболонки привело до істотного підвищення якості зливка та, як слідство, продукції, що з неї виробляється.

Проведені широкі дослідження нової технології розливки дозволили В.А.Ефимову сформулювати основні вимоги, які пред'являються до шлакоутворюючих сумішей, а також до плинного розплаву, який утворюється. Ці вимоги у подальшому були розширені та уточнені, та все ж таки і вони не мають змоги твердо гарантувати отримання якісного зливка.

Разом з тим, ефективність застосування нової технології знижується через погіршення якості донної частини зливка, що у значній мірі пов'язано із зростанням кількості неметалічних вкраплень, по співвідношенню окислів близьких по складу до шлакоутворюючої суміші. Наслідком цього є зростання величини відсортування підкатів із донної частини зливка. Для зниження забруднень донної частини зливка доцільно зменшити захват часток суміші у початковий період розливки.

Багато дослідників, вирішуючи цю проблему, йдуть шляхом удосконалення способів введення суміші у виливницю: використовують підвищення мішків з шлакоутворюючою сумішшю або шлакоутворюючих плит на відстані близько 250...300 мм від ден виливниці, запобігаючи захват суміші першими порціями фонтануючого струменя металу; встановлюють зверху перед розливкою по осі виливниці виплавляємий шлакоутворюючий стержень; здійснюють брикетування суміші; подають теплоізолюючу суміш у пакетах, попередньо здійснивши присадку на дно виливниці деревинної тирси, торфу, пінопластової кришки (можлива присадка і інших дешевих мікрофракційних органічних матеріалів, які являють собою промислові відходи) або укладення прокладок у вигляді гофрованого картону.

Друга частина досліджень спрямована на оптимізацію параметрів вхідного у виливницю струменя металу та у зв'язку з цим регулювання характеру та інтенсивності циркуляційних потоків сталі у виливниці, котрі, у свою чергу, впливають на зменшення захоплення часток суміші у перші хвилини розливки. При цьому вирішується також питання місцевого підмиву корочки (зменшення швидкості

її росту), тому що ця небезпека підвищується при використанні шлакоутворюючих сумішей, в наслідок наявності шлакового гарнісажу на зливку та зменшення при цьому інтенсивності тепловідводу.

Дані проблеми, на погляд автора, виникли через використання у новій технології "старого" обладнання, а точніше ливникової системи, котра проектувалася та успішно використовувалася для розливу сталі з відкритим дзеркалом, де основна увага приділялася отриманню жорсткого фонтануючого струменя, яка затримувала утворення корочки твердіючого металу на дзеркалі розплаву та не допускала її заворотів. Необхідність у такому струмені відпадає при розливанні під шлакоутворюючими сумішами, тому що корка відсутня у зв'язку з доброю теплоізоляцією дзеркала металу. Аналіз результатів останніх робіт з гідродинаміки сифонної розливки під шлаком дозволяє зробити висновок, що зараз необхідно, по можливості, ліквідувати жорсткий фонтануючий струмень у виливниці. Одним із способів його ліквідування автор бачить у необхідності проектування ливникової системи, виходячи з умов: $\Sigma S_{\text{ц}} < \Sigma S_{\text{пр}} < \Sigma S_{\text{ст}}$.

У цьому випадку, очевидно, перетин центрної ($S_{\text{ц}}$) необхідно вибирати таким, щоб вона, а значить, і інші елементи ливникової системи (суми перетинів сифонних провідок ($\Sigma S_{\text{пр}}$) та кінцевих стаканів ($\Sigma S_{\text{ст}}$)) мали змогу вільно пропустити ту кількість металу, яка витікає з повного сталерозливочного ковша при повністю відкритому стакані. Тому для підвищення ефективності процесу розливки та якості кінцевої металопродукції, необхідно, перш за все, удосконалювати розливочне обладнання, яке зараз використовується, та вести дослідження, конкретно, у цьому напрямку.

2. Фізичне моделювання процесу заповнення донної частини виливниці під шлакоутворюючою сумішшю.

Для вивчення гідродинамічних особливостей процесу заповнення донної частини виливниці металом під шлакоутворюючою сумішшю були проведені дослідження на прозорій моделі виливниці С-8, яка використовується на Дніпровському металургійному комбінаті для розливки трубного металу (сифонна провідка $\varnothing 50$ мм). Дослідження проводили з додержанням умов геометричної та гідродинамічної подібності при рівності у об'єкті та моделі чисел Фруда (Fr) та Вебера (We). Що ж стосується критерія Рейнольдса, то при високих його значеннях (більш ніж 2320) у реальному об'єкті (при розливанні сталі $Re > 2 \cdot 10^5$) додержання умов $Re = idem$ необов'язково.

При моделюванні метал імітували водою, а в якості матеріалу, що моделює шлакоутворюючу суміш, брали пробку, поверхню якої насичували гасом. Це дало змогу підвищити густість вибраного матеріалу від 0,2 до $0,32 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ та, крім того, оскільки кожна частка пробки була насичена гасом, використовувати величину його поверхневого натягу з метою додержання слідуючих співвідношень:

$$\frac{\rho_{\text{сталі}}}{\rho_{\text{шлак. суміш}}} = \frac{\rho_{\text{серед. модел. сталь}}}{\rho_{\text{серед. модел. шлак}}}; \quad \frac{\sigma_{\text{шлаку}}}{\sigma_{\text{металу}}} = \frac{\sigma_{\text{гасу}}}{\sigma_{\text{води}}}$$

Модель була виконана у масштабі 0,6, що забезпечило відтворення на ній гідродинамічних процесів, що визначаються числом Вебера. При певному значенні останнього з умов рівняння критеріїв Фруда визначили значення масштабів швидкостей $M_v = 0,78$ та витрат $M_q = 0,28$.

Характер та швидкість руху рідини у виливниці холодної моделі оцінювали за напрямленнями та даними довжин треків часток полістеролу, відзнятих на фотоплівку у визначеній вертикальній площині.

Спостереження та реєстрацію руху кульок полістеролу у визначеній площині дозволило використання для освітлення (обладнання розташовувалося у достатньо темній кімнаті) вузького променевого пучка (використовувався безконтактний метод спостереження).

Для дослідження поведінки шлакоутворюючої суміші (її захват), визначення приблизної кількості часток шлакоутворюючого матеріалу, який знаходиться у рідині у той чи інший момент часу, проводили шляхом їх рахування на фотографіях об'єму рідини прозорої моделі виливниці.

З початку була вивчена залежність лінійної швидкості заповнення виливниці під тиском у магістральному водопроводі, яка дала змогу встановити, що швидкість визначається тиском та практично не залежить від способу підводу рідини у виливницю. В подальшому досліджувати вплив способу підводу рідини у виливницю на величину швидкості висхідного потоку на різних відстанях від зрізу стакану (h) та різних швидкостях заповнення виливниці (V_d), а також на поведінку шлакоутворюючої суміші у початковій моменті наповнення моделі. При використанні усіх експериментальних варіантів стаканів їх діаметр на вході у виливницю втричі перевищував діаметр сифонної проводки, за рахунок чого реалізовувалася розширена ливникова система.

Підтверджено, що швидкість висхідного потоку перш за все

залежить від перерізу стакану, тиску у відповідному водопроводі (лінійна швидкість розливу), віддалення від зрізу стакану.

Встановлено, що найкращою конструкцією стаканів для зниження інтенсивності циркуляції розплаву у виливниці та зменшення захвату суміші у об'ємі металу, при використанні розширної ливникової системи, слід вважати стакани з збільшеним перерізом ($D_{\text{стак. Зд сиф. пров.}}$), а також враховувати той факт, що вихід металу (рідини) повинен йти через перфоровані ґрати з отворами, які розширюються у напрямку руху металу (табл.2.1). Більш рівномірне розподілення швидкості потоків по перерізу виливниці та менша їх величина, напевне, дозволяє нам вдвоє, а то і більше підвищити швидкість сифонної розливки під шлаком. Обмежувати величину швидкості розливання металу, очевидно, буде лише швидкість формування шлакового розплаву у виливниці.

Разом з тим, на основі аналізу отриманих даних та виходячи з простоти виготовлення стакану, можливості центрування виливни-

Таблиця 2.1.
Величини швидкостей, висхідних потоків ($W_{\text{вист.}}$)
на різних горизонтах моделі.

Конструкція кінцевого стакану	Висота (горизонт моделі) від зрізу стакану, мм				
	100	200	300	400	500
1. Циліндричний, $V_{\text{л}} = 250 \text{ мм}^3/\text{хв.}$	0,875 *	0,724	0,651	0,539	0,462
	0,850 **	0,712	0,632	0,527	0,455
2. Дірчастий стакан (отвори кінчні $\varnothing 12$; 16 мм. $V_{\text{л}}$:	0,103	0,148	0,104	0,043	0,005
а) 250 $\text{мм}^3/\text{хв.}$;	0,177	0,137	0,097	0,040	0,005
б) 400 $\text{мм}^3/\text{хв.}$.	0,348	0,271	0,178	0,110	0,039
	0,341	0,265	0,174	0,091	0,038
*, ** - відповідно верхня та нижня границі вимірюваної величини					

ці з таким стаканом над кінцевим отвіром сифонної провідки та ін-

ших технологічних вимог, для практики рекомендували короткий стакан, який розширюється доверху ($d_0 = 100$ мм, $D = 140$ мм, $h/d_0 \approx 1$, d_0 і D - діаметри вхідного та вихідного перерізу внутрішньої порожнини стакану, h - висота стакану). При використанні такого стакану з одностороннім центральним підводом рідини, кількість "суміші", яка захоплюється "металом", як показали лабораторні дослідження, втричі менше, чим у циліндричному стакані, і "метал" швидко очищується від захвачених потоками часток.

3. Чисельні дослідження процесів утворення корки металу при розливанні сталі.

Для математичного моделювання процес утворення корки у період заповнення виливниці достатньо складний, але і не менш важливий, тому що він у значній мірі визначає якість поверхні зливку.

У зв'язку з цим була розроблена математична модель, яка дає змогу визначати швидкість росту коркового шару у період заповнення виливниці, у розрахунковій області, яка змінюється, з урахуванням гідродинаміки та теплопереносу у розливіці.

Рух рідкої фази металу описували рівнянням Рейнольдса. Умови нестисливості рідкої сталі у нашому випадку (постійної густоти) уявляло собою умову соліноідальності вектору швидкості ($\nabla \cdot \vec{V} = 0$). Граничні умови для складаючих швидкості на осі симетрії та вільній поверхні вибиралися з умов вільного ковзання, а тверда поверхня з умов часткового прилипання (однопараметрична умова гальмування розплаву об поверхню). Граничні умови для тиску отримувалися проєктуванням рівнянь руху (рівнянь Рейнольдса) на нормаль до поверхні.

Відмітимо, що границі гідродинамічного розрахунку у нашій моделі рухливі. Більш того, одна з границь - поверхня корки металу - визначалася у процесі розрахунку. Це створило труднощі у розставленні граничних умов, подолання яких досягалося за рахунок того, що гідродинамічна частина задачі, яка розглядається, вирішувалася у природніх перемінних V , P (швидкість, тиск) методом розщеплення за фізичними факторами з явним врахуванням рухливості меж.

У відповідності з цим методом, чисельні рішення задачі гідродинаміки здійснювалися у три етапи. На першому етапі рідину вважали стисливою та її рухи визначали перемінною та в'язкою складаючими.

Із закону змін імпульсу знаходили складові проміжної швидкості $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$. На другому етапі з умов нестисливості рідини $\nabla \cdot \vec{V} = 0$ знаходили поле тисків. І на прикінці, на третьому етапі уточнювали поле швидкостей.

Теплові умови у виливниці в процесі її заповнення визначалися загальним рівнянням конвективного теплопереносу, який враховує процеси кристалізації (або плавлення) рідкої сталі. На межі виливниці з середовищем це рівняння доповнювалося граничними умовами 3-го роду. На внутрішніх поверхнях використовувалися умови сполучення. Тепловий потік з поверхні був відсутнім (залівка під шлак). Рівняння гідродинаміки та теплопереносу вирішувалися чисельно методом кінцевих різниць.

Алгоритм вирішення задачі заповнення виливниці реалізували у вигляді пакету програм з використанням мови Паскаль. При обробці числової інформації частина програм здійснювала графічну обробку інформації (вивід температурного поля, форми корки металу, яка намерзає, графіків швидкості росту корки на різних рівнях і т.ін.), друга частина програм здійснює вибіркочислову обробку отриманої інформації. У комплексі весь пакет дозволяє дати достатньо повну та різноманітну інформацію про зміни гідродинамічних та теплофізичних процесів, які протікають при заповненні виливниці сифоном.

Для встановлення адекватності гідродинамічної частини математичної моделі було проведено співставлення результатів розрахунків з даними фізичного моделювання. Порівняння експериментальних та розрахункових даних показало, що різниця їх лежить у межах 10 % від вихідних швидкостей входження струму v на всіх рівнях заповнення, що цілком задовільно для практичних цілей, та говорить про правильність постановки задачі, що вирішувалася. Результати цього моделювання можуть бути використані як під час проектування параметрів ливникової системи, так і під час розробки технології розливання в цілому. Адекватність по тепловій частині моделі встановлена для реального зливка у відповідності з даними, отриманими Єфимовим В.А. по температурі стінок виливниці та товщині сформованої корки зливка, яка створюється у процесі наповнення виливниці.

Після перевірки адекватності математичної моделі чисельно досліджували процес заповнення виливниці металом сифонним способом.

Розрахунки проводилися з використанням двох наборів геомет-

ричних параметрів виливниці та стакану, один з яких відносився до базового, а другий - до розробленого.

Аналізувалися та порівнювалися три варіанти заповнення виливниці:

- а) прискорене безнапірне заповнення - заповнення через стакан з великим кутом розкриття дифузора за час $\tau = 4,5$ хв.;
- б) повільне безнапірне заповнення виливниці з широким стаканом за $\tau = 7,0$ хв.;
- в) звичайне (базове) заповнення з використанням стакану з малим кутом розтину дифузора (циліндричний стакан) за час $\tau = 7,0$ хв.

Для цих варіантів на різних рівнях виливниці було знайдено залежність товщини корки металу, що намерзла, від часу в процесі заповнення виливниці. Аналіз розрахункових даних показав, що в початковий період часу швидкість створення корки металу при звичайному способі заповнення виливниці значно нижча, ніж при безнапірному способі заповнення, при чому при безнапірному заповненні швидкість росту корки мало залежить від часу заповнення (у межах 4,5...7 хв.).

Встановлено, що швидкість росту корки металу визначається перш за все характером руху металу у виливниці при розливанні. Товщина шару, який закристалізувався при цьому, визначається оформленням вводу струменя у виливницю. К підвищенню швидкості росту корки зливу сталі призводить зниження глибини проникання струменя у товщу металу.

Найбільш діючим засобом у цьому плані є зменшення вихідної швидкості струменя з збереженням теперішньої, або навіть збільшеної, швидкості наповнення виливниці.

Аналіз результатів чисельних досліджень показав, що параметри розливочного стакану, вибрані на основі результатів фізичного моделювання, припустимі та можуть бути використані для промислового випробування.

4. Дослідно-промислові випробування нової технології сифонного розливання металу під шлаком.

У відповідності з результатами досліджень (фізичне та математичне моделювання) процесів, які протікають при розливанні сталі сифоном під шлакоутворюючими сумішами, визначили основні параметри ливникової системи, яка розширюється, відповідно до умов Дніпровського металургійного комбінату. Реконструйована

ливникова система у подальшому була випробувана на практиці.

Підготовка составів під розливу здійснювалася у цеху підготовки составів (ЦПС) за прийнятою на комбінаті технологією.

Дослідження проводилися на чотирьохмісних та восьмимісних піддонах з шириною рівчачка 140 мм (на комбінаті використовуються з шириною 120 мм). На ці піддони, обладнані центрвою, зіркою марки С-36, сифонною цеглою марки С-71 (діаметр каналу 60 мм), зі зміненою конструкцією кінцевої сифонної трубки та кінцевим дифузорним стаканом: $d_0 = 90$ мм, $D = 130$ мм, $h = 100$ мм, встановлювалися виливниці С-8А удосконаленої конструкції (товщина дна 80 мм з збільшеним отвором під розливний стакан: $d_I = 195$ мм, $D_I = 185$ мм, де d_I і D_I — діаметри перерізів отвору, що звужуються у бік порожнини виливниці, розташованого у донній частині останньої).

Розливка металу здійснювалася у розливочних прольотах мартенівського та киснево-конверторного цехів через стакан-колектор діаметром 60 мм. Лінійна швидкість наповнення тіла зливка варіювали у межах 270...600 мм/хв., визначаючи при цьому оптимальну швидкість наповнення виливниць для різноманітних груп марок сталі (леговані, низьковуглецеві, середньовуглецеві).

Висота наповнення додатку та утеплення дзеркала металу, витримка составу у розливочному прольоті, стріперування, подача та нагрів металу у нагрівальних колодязях, прокат на блюмінгу та на трубозаготівельному стані проводили по технології, існуючій на комбінаті.

Вже перше дослідження у мартенівському цеху на 22 плавках у присутності на составі одного чотирьохмісного піддону з дослідницьким обладнанням показали, що використання ливникової системи близьке до оптимальних параметрів: $S_{ц} = 3,14 \times 50^2 = 7850$ мм²; $\sum S_{пр} = 4 \times 3,14 \times 30^2 = 11304$ мм²; $\sum S_{ст} = 4 \times 3,14 \times 50^2 = 31400$ мм², дозволяє знизити брак по трубній заготовці на 0,25%. При цьому відмічено, що з підвищенням швидкості розливки навіть вдвоє погіршення якості заготовок не спостерігається. Отримані результати виявилися достатньою умовою для проведення широких промислових досліджень. Відлито близько 3000 т трубної сталі, що отримані під час швидкісної розливки (тривалість наповнення тіла зливка коливалася від 5 хв. 40 с. до 3 хв. 15 с.) за дослідницькою технологією, завжди мали менше браку, ніж порівняльні (табл. 4.1.).

Таблиця 4.1.

Порівнювання якості металу трубних марок сталі, оглянутого на ділянці обробці ТЭС залежно від застосовуваної технології.

Технологія розливання	Час наповнення тіла зливка, хв.	Усього оглянуто, т	Брак	
			т	%
Дослідна	3,25...5,70	1744,8	36,63	1,87
Базова	6,0...8,0	6379,8	162,05	2,54

Експериментальним шляхом знайдено оптимум допустимої швидкості для різноманітних груп марок сталі, які складають для низьковуглецевих - 540...560 мм/хв., для середньовуглецевих - 540...580 мм/хв., для легованих - 560...600 мм/хв..

Переваги нової технології розливання підтверджені ретельним аналізом (з використанням ультразвукового контролю) якості металу марки ОС, відлитого у мартенівському цеху, а конкретно осей та їх заготовок (табл. 4.2).

Таблиця 4.2.

Порівнювання якості осевої заготовки.

Технологія розливання	Кількість отриманих кратей, шт.	Краті, які потребують зачистки		Брак по металлу		Брак при УЗК	
		шт.	%	шт.	%	шт.	%
Дослідна	145	104	71,7	-	-	-	-
Базова	902	584	64,8	4	0,4	3	0,33

Підвищення швидкості розливання металу під шлакоутворюючою сумішшю потребує перегляду складу, і, як наслідок, фізико-хімічних властивостей останньої. Запропоновано та випробувано оптимальний склад шлакоутворюючої суміші для сифонної розливки металу на основі шлаку виробництва металічного марганцю: шлак металічного марганцю - 70 %, алюмінієва стружка - 15...20 %, плавико-

вий шпат - 8...10%. Суміш має наступні переваги: менша ймовірність виходу з евтектичного стану (у суміші три компоненти); легкоплавка (час повного розплавлення 1,5...2 хвил.); забезпечується швидке руйнування шлакового гарнісажу на внутрішній поверхні виливниці (розплавлений шлак з достатньо високою основністю ($\sim 2,0$)); знижена на 4% масова частка плавикового шпата, здатного при розплавленні виділяти токсичні сполучення; низька вартість суміші; менші витрати на помол та змішування компонентів.

12000 т тисених марок сталі було відлите при проведенні досліджень з використанням дослідницького розливочного обладнання на составі, обладнаному восьмимісними піддонами. Час наповнення виливниць відповідав часу наповнення, визначеному у технологічній інструкції комбінату для восьмимісних піддонів (7...11 хв.)

Малий діаметр (60 мм) колектора у ковші, розрахований на існуючу на комбінаті ливникову систему, та восьмимісний піддон, на якому дві виливниці (С-8) знаходяться на одному рівняку, не дозволили проводити розливу з підвищеними швидкостями.

Результати по виходу придатного та браку, отримані на обробці трубозаготівельного стану (ТЗС) показали зменшення браку прокату на дослідницьких плавках у порівнянні з даними по браку поточного виробництва.

Встановлено, що поліпшення якості поверхні заготовок при використанні ливникової системи, яка розширюється, викликано, перш за все, зміною характеру циркуляційних потоків у виливниці, істотно впливаючих на процес формування корочки. Вирівнювання швидкості потоку по перерізу виливниці (особливо у нижній третині) технологія, яка пропонується, сприяє зменшенню захвату шлакоутворюючої суміші у початковий період розливу (підтверджено результатами холодного моделювання). У зв'язку з цим відмічено зниження забрудненості донної частини зливу неметалічними крапленнями оксидного походження у середньому на 0,37 бала. Якість мікроструктури трубної заготовки із дослідницьких злиwkів не поступається порівняльним.

В умовах киснево-конверторного цеху проведена відливка осьового металу з використанням дослідницького обладнання. Кількість кратей, які потребують зачистки, знизилася на 7,32 % (абс.). На 0,92 % зросла кількість задовільних кратей. При УЗК усі осьові заготовки отримані методом безнапірної розливки, мали якісні характеристики значно вищі, ніж у метала, відлитого з використан-

ням базової ливникової системи: брак по загасанню (якість суцільностей металу, які контролюються УЗК) склав 0,19 % проти 0,79 %; імпульсів від порушення суцільностей на відміну від заготовок з якими порівнювали, не виявлено; брак по горизонтам склав 0,76 %, що на 0,68 % нижче, ніж у порівняльному металі.

Кількість прокатаних придатних осей у дослідницькій партії на 4,83 % (абс.) було вище, ніж у порівняльній. При УЗК брак осей був відсутній (із числа осей, отриманих від зливків, відлитих по базовій технології, при УЗК забраковано 0,78 %). Вихід придатного металу (дослідницька партія) склав 79,2 %, що на 6,3 % вище, ніж у партії зливків, з якими порівнювали.

На значному об'ємі відлитого трубного металу (10000 т) показано один із шляхів поступового переходу на комбінаті до нової технології розливки, які дозволяють зберегти на час переходу рівень якості металу, який отримується.

У зв'язку з тим, що нова технологія розливання передбачає значне зниження швидкості потоків вздовж корочки зливку, це вірогідно повинно було відбитися на стійкості виливниць, їх витраті. Основне скорочення витрат виливниць чекали отримати внаслідок зменшення товщини їх донної частини, а також ваги. Нова виливниця (С-8А) на 810 кг менше звичайної (С-8). У процесі експлуатації була підтверджена ефективність використання виливниці С-8А не виключаючи позитивного впливання на хід її наповнення ливникової системи, яка розширюється, що дозволило знизити витрати виливниць у середньому на 3,4 кг/т. Якщо зниження витрат виливниць близько 2 кг/т можна пояснити виключно тільки зменшенням ваги виливниці С-8 на 9 % за рахунок реконструкції донної частини, то решта - 1,4 кг/т - пов'язана, очевидно, зі змінами гідродинаміки у порожнині виливниці (відсутня чітко означена зона інтенсивної циркуляції металу, у зв'язку з чим дія струменю, який розмиває виливницю, виявляється слабкіше). Існуюче уявлення, що при зменшенні товщини дна виливниці знизиться її стійкість та погіршиться якість металу донної частини зливка через зниження швидкості кристалізації, у процесі роботи не підтвердилося.

Аналіз результатів промислових досліджень показав суттєві переваги розробленої нової технології сифонного розливання металу під шлаком, перед все ще існуючим, класичним засобом відливання зливків, та дає підстави для широкого використання її на інших металургійних підприємствах країни.

ЗАКЛЮЧЕННЯ.

1. На основі аналізу переваг та недоліків розливання сталі сифонним способом під шлакоутворюючими сумішами, методами фізичного та математичного моделювання визначена конструкція розливочного пристрою: $S_{ц} : \sum S_{пр} : \sum S_{ст}$, як 1 : 1,5 : 5, причому $\sum S_{ст}$ - це сума вихідних (в бік внутрішньої порожнини виливниці) перерізів стаканів.

2. Дослідження гідродинаміки сифонної відливки зливків під шлакоутворюючою сумішшю на фізичній моделі з використанням ливникової системи, яка розширюється, та використання на останньому її етапі як звичайних конічних, збільшеного вихідного перерізу (близько 80...130 мм), та зменшеною висотою (100...140 мм), так і особливо "дірчастих" (перфорована решітка з конічними отворами) стаканів, показало: істотне зменшення циркуляції металу у виливниці, яке визивається струмом розплаву, що подається; отримання практично по усій висоті виливниці тільки висхідних потоків малої швидкості (включаючи й потоки у коркового слоя), зниження до мінімуму захвату суміші в об'ємі "металу": можливість збільшення швидкості розливання металу сифоном.

3. Розроблена математична модель гідродинаміки процесу сифонної розливки сталі з використанням природніх перемінних. Перевірена та показана її адекватність з результатами фізичного моделювання. При вирішенні гідродинамічної задачі у природніх перемінних не викликає труднощів розстановка граничних умов на твердих поверхнях, особливо якщо вони рухомі при затвердінні. Велика простота аналізу отриманих результатів для інженера, так як для описування фізики гідродинамічних та теплофізичних процесів використовуються фізичні (природні) перемінні: швидкість та тиск. Проведено розрахунки поля швидкостей, полів температур розплаву та затвердішої корки при різноманітних способах сифонної розливки напірної та безнапірної. Виявлено резерв підвищення швидкості наповнення виливниці при використанні ливникової системи, яка розширюється, приблизно в 2 рази.

4. Розроблено математичну модель процесу формування (затвердіння) зливку у період заповнення виливниці металом. Визначення швидкості росту коркового шару виконано у змінній розрахунковій області з урахуванням гідродинамічних обставин та теплопереносу. На процес формування коркового шару у період заповнення виливниці металом (його швидкості

технологію розливання (виконана конструкція ливникової системи по принципу системи, яка розширюється), перед існуючим методом розливки, який використовується на комбінаті.

5. Визначені основні параметри зконструйованої ливникової системи (розміри її частин) стосовно до умов Дніпровського металургійного комбінату: центрова, ливникова система, розливочний стакан, виливниця. Показано технологічні особливості підготовки составів з використанням обладнання, яке реконструюється. Внесені зміни у порядок проведення технологічних операцій на розливочному прольоті та у період розливання металу.

6. Розроблена та впроваджена нова технологія швидкісної розливки спокійного металу сифоном на чотирьохмісних піддонах в умовах мартенівського цеха комбінату з використанням виливниці С-8 з реконструйованою донною частиною. Досягнуто зниження браку по трубній заготовці на 0,67 %. Час наповнення дослідницьких піддонів (тіла зливка) складало 3 хв. 15 с...5 хв. 30 с, а порівняльних (існуюча технологія на комбінаті) 6...8 хвил. Експериментальним шляхом знайдено оптимум швидкостей для різних груп марок сталей, який складає: для низьковуглецевих 540+560 мм/хв.; для середньовуглецевих 540+580 мм/хв.; для лігованих 560+600 мм/хв..

7. На якості осьової заготовки показано зниження можливостей виникнення браку металу за "виною" розливки на 0,4 %, зменшення кількості браку із-за наявності несутільностей у металі (присутність неметалічних включень) на 0,3 %. Отримано зниження витрат виливниць на 3,7 кг/т. Зкорочення витрат пояснюється наступним: при реконструкції донної частини виливниці С-8 здійснювалося зменшення ваги виливниці на 9 % (стійкість при цьому не знизилася); значно знижена швидкість струменів біля стінок виливниці (вплив ливникової системи, яка розширюється), розливаюча дія яких на виливницю впливає слабше, розливка з високою швидкістю передбачає зменшення розвитку термонапруги у виливниці (відсутній значний перепад температур по висоті виливниці, який має місце при звичайному (повільному) заповненні).

8. Визначено оптимальний склад шлакоутворюючої суміші для швидкісної розливки сталі: шлак металічного марганцю - 70 %; алюмінієва стружка - 15...20%; плавиковий шпат - 8...10%. Суміш легкоплавка (час повного розплавлення 1,5...2,0 хвил.) з понишеною на 4 %, у порівнянні з базовою, масовою часткою плавикового шпату; забезпечує за рахунок високої лужності ($\sim 2,0$) швидке руйнування шлакового гарнісажу; має низьку вартість; малі витрати на

помол та змішування компонентів.

9. Освоєна розливка конверторних сталей з використанням удосконаленого розливочного обладнання на восьмимісних піддонах із збереженням існуючих на комбінаті швидкостей наповнення тіла зливка. Знижено на 1,03 % кількість браку прокату, виявленого на обробці трубозаготівельного стану. Порівняння на забрудненість металу неметалічними вкрапленнями зразків донної частини зливка сталі марки 20К, технологій що порівнювалися (нової та базової), показало переваги технології, що пропонується, при використанні якої спостерігається зменшення забрудненості на 0,37 бала (зниження отримано за рахунок оксидів по складу, близькому до складу шлаку), що повністю підтверджено результатами фізичного моделювання. Відмічено зниження витрат виливниць з реконструйованою донною частиною на 3,16 кг/т. Вдано рекомендації на зміну деяких параметрів розливочного обладнання для ведення розливки прискорено.

10. Розроблена та впроваджена технологія розливки осовього металу в умовах конвертерного цеху комбінату. Отримано зниження на 7,32 % (абс.) кількості кратей, які потребують зачистки. Збільшено вихід придатного металу на 6,3 % (абс.). Практично зведені до мінімуму, як показав УЗК, можливості з'явлення несуттільностей у металі.

11. Реальний економічний ефект, отриманий при впровадженні на комбінаті, склав 250680 крб. (по цінам на 1991 р.) на тону відливої сталі.

Основний зміст дисертації відображено у наступних роботах:

1. А.с. 1662742 СССР, МКИ В 22 Д 7/12. Устройство для сифонной разливки стали / А.П.Огурцов, М.А.Кашеев, Ю.М.Ковалев и др. (СССР). - № 4606721; заявл.17.10.88; опубл.15.07.91. Бюл. № 26.
2. Математическая модель процесса образования корки металла в период заполнения изложницы /А.П.Огурцов, С.Е.Самохвалов, В.П.Полетаев, и др. //Наука-производству:Сб.статей/ДИИ.-К.,1991.-С.12-15.
3. Губарев И.В., Букреев В.Ф., Огурцов А.П. Скоростная сифонная разливка: качество металла и стойкость изложниц. / Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металла и сплавов.: Тез. докл.Всесоюз.научн.-техн.конф. молодых ученых и специалистов.-Тула,1990.-С.36,37.
4. Огурцов А.П., Губарев И.В. Отливка стали различных марок через

458616

Ав. 30.720

Ав 30.720

расширяющуюся литниковую систему // Чер.металлургия. - 1993. - №2. - С.28-29.

5. Технология сифонной разливки стали с использованием расширяющейся литниковой системы / И.В.Губарев, В.П.Полетаев, М.А.Кашеев / Наука-производству.:Сб.статей / ДИИ.-К.,1991.-С.20-23.
6. Математическая модель гидродинамики начального заполнения изложницы сифоном /А.П.Огурцов, И.А.Миленький, С.Е.Самохвалов и др./ Изв.вузов.Чер.металлургия.-1993.-№7.-С.23-26.
7. Огурцов А.П., Губарев И.В., Кашеев М.А. Новая технология разливки стали сифоном под шлаком // Совершенствование металлургической технологии в машиностроении.:Тез.докл. 2 Всесоюз.науч.-техн. конф. с участием иностран. специалистов.- Волгоград,1991.-С.194, 195.
8. Технология скоростной разливки стали сифоном /А.П.Огурцов,И.В.Губарев, В.П.Полетаев и др.// Процессы разливки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов.:Тез.докл. XI Всесоюзной конференции по проблемам слитка.-Волгоград,1990.-С.178,179.
9. Усовершенствованная технология сифонной разливки стали /А.П.Огурцов, И.В.Губарев, С.С.Бродский, и др.// Чер.металлургия.:Бюл.НТИ.-1992.-№8.-С.23-24.
10. Повышение качества металлопродукции при сифонной разливке под шлаком через расширяющуюся литниковую систему / А.П.Огурцов, И.В.Губарев, М.А.Кашеев и др.// Сталь.-1994.-№1.-С.27-29.



Подписано в печать 29.06.94. 1,3 печ. л.
Формат бумаги 60x84/16. Тираж 110. Беспл.