

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

Філіппов Ігор Юрійович

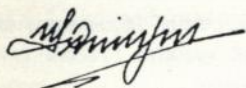
УДК 669.15-198

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗЛИВАННЯ
СИЛІКОМАРГАНЦЮ З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ СПОЖИВЧИХ
ЯКОСТЕЙ СПЛАВУ

Спеціальність 05.16.02 — «Металургія чорних металів»

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Дніпропетровськ

1997

Дисертація



00751545 (R)

Робота виконана в Державній Металургійній Академії України
Міністерство Освіти України

Науковий керівник:

Доктор технічних наук, професор кафедри електromеталургії
Кучер Анатолій Гурійович
Державна Металургійна Академія України

Науковий консультант:

Доктор технічних наук, професор кафедри ливарних процесів
Хричіков Валерій Євгенович
Державна Металургійна Академія України

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, Віхлевчук Валерій Антонович
Інститут Чорної Металургії НАН України
Завідуючий відділом позаагрегатної обробки сталі

Кандидат технічних наук Гусев Валентин Іванович
"УкрНДІспецсталь". Заступник директора інституту

Провідна установа - Запорізька Державна Інженерна Академія
Міністерство Освіти України, м.Запоріжжя

Захист відбудеться " 16 " 12 1997 р. о 12³⁰ год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03 при Державній
Металургійній Академії України
(320635, Дніпропетровськ, пр.Гагаріна,4)

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної Ме-
талургійної Академії України.

Автореферат разісланий " 14 " 11 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої
ради, кандидат технічних наук,
доцент

Ю.С.Паніотов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Будівництво та зростання потужностей на Нікопольському заводі феросплавів (НЗФ) вивели Україну на перше місце у світі з обсягу виробництва марганцевих феросплавів. Особливе місце серед них належить силікомарганцю, обсяг виплавки якого у 1992 році склав близько 70% світового виробництва. У зв'язку зі зниженням виробництва сталі в Україні основна кількість силікомарганцю відправляється на експорт в країни далекого та ближнього зарубіжжя. При цьому різко підвищились вимоги що до якості феросплавів і забезпечення їх конкурентоспроможності на світовому ринку.

Стосовно силікомарганцю зростають вимоги по забезпеченню сталеплавильного виробництва якісними феросплавами регламентованої дрібності, вживання яких дозволить зменшити втрати марганцю при позапічному легуванні сталі і підвищити скріпні показники ефективності виробництва.

Споживчі якості феросплавів визначаються, в основному, їх хімічним та гранулометричним складом, а також фізико-хімічними якостями. В зв'язку з цим очевидна необхідність комплексного підходу до удосконалення діючих технологій та розробці засобів підвищення споживчих якостей силікомарганцю.

Для отримання якісного металу необхідно звертати увагу не тільки на конструкцію плавильних агрегатів, підготовку шихтових матеріалів, а також розбиранню готової продукції. Технологія розливання виявляє великий вплив на чистоту готового металу, кількість отриманих відходів, якість продукції і таке інше.

Існуючі на ВАТ НЗФ засоби підготовки фракціонованих феросплавів передбачають дріблення та розсів металу на подріблено-розсівних комплексах що сприяє утворенню великої кількості некондиційного дрібняку і знижує продуктивність як печі, так і розсівних машин. В той же час вибір раціонального режиму розливання, який забезпечує оптимальну швидкість охолодження та найменшого теплового навантаження на виливниці, дозволить підняти вихід фракціонованих феросплавів і продуктивність ливарних машин. Це дозволить поліпшити споживчі якості сплаву та техніко-економічні показники його виробництва.

Мета роботи. Метою роботи є розробка та дослідження технології розливання силікомарганцю, що сприяє зниженню відходів при отриманні фракціонованого металу.

Дир. В. Стефанів
України

Наукова новизна.

- на базі наукового узагальнення даних про сучасний стан технології виплавки силікомарганцю, основних засобів і методів розливання феросплавів обґрунтована технологія розливання силікомарганцю в умовах нестабільного хімічного складу марганцевої сировини.

- на основі теплової теорії лиття визначено механізм кристалізації аликвків силікомарганцю у виливницях ливарних машин і досліджені фактори, які впливають на процес твердження.

- обчислений коефіцієнт твердження силікомарганцю з урахуванням якого визначена швидкість твердження і її вплив на міцність отримуваних аликвків.

- визначена теплопровідність силікомарганцю в залежності від хімічного складу та температури.

- з'ясований вплив хімічного складу і початкової температури розливання силікомарганцю на кількість відходів.

- рентгеноструктурними і металографічними дослідженнями з'ясовані структура та фазовий склад промислового силікомарганцю і сплава з базовим вмістом марганцю (65...68%).

- теоретично обґрунтовано позитивний вплив залізистих матеріалів на процес виплавки силікомарганцю, міцність отриманих аликвків, що підтверджено результатами промислових випробувань.

Практична цінність і реалізація результатів роботи. Практична реалізація теоретичних і експериментальних досліджень та результатів дослідно-промислових робіт дозволило:

1. Розробити і обґрунтувати технологію розливання силікомарганцю в умовах великого обсягу виробництва.

2. Визначити основні технологічні фактори та їх вплив на процес кристалізації силікомарганцю за машинного розливання.

3. Удосконалити параметри охолодження аликвків, оптимізувати температурний і технологічний режими розливання, які покращують якість сплаву.

4. Обчислити час повного затвердіння аликвків і оптимізувати продуктивність роботи ливарних машин.

5. Розробити у промислових умовах технологію виплавки силікомарганцю з базовим вмістом марганцю, що дозволяє поліпшити техніко-економічні показники процесу.

6. Скласти наскрізний баланс марганцю на усіх ланках технологічного перероблення і надати поради щодо зниження його втрат.

Апробація роботи. Основні наукові положення та практичні ре-

аультати роботи доповідалися на Міжнародній науково-практичній конференції з сучасного стану та перспектив розвитку електротермічного виробництва кольорових металів, феросплавів та інших неорганічних матеріалів (Дніпропетровськ, 1994 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Теорія та практика електротермії феросплавів"; засіданнях науково-технічної ради ВАТ НЗФ та наукових семінарах кафедри електрометалургії ДМетАУ.

Публікації Основний зміст роботи опубліковано в 12 друкованих працях. Отримано 2 авторських посвідчення СРСР і 2 рішення на видачу патенту України.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури з 108 найменувань, додатку і містить 158 сторінок машинописного тексту, 39 малюнків і 21 таблицю.

Особистий вклад автора дисертації в розробку наукових положень та досягнення практичних результатів висловлюється в тому, що усі дослідження і промислові експерименти проведені за безпосередньої участі автора або під його керівництвом. Узагальнення результатів робіт проведено автором самостійно.

Автор щиро дякує докт.техн.наук, проф. А.Г.Кучеру, докт.техн.наук, проф. В.Е.Хричікову, співробітникам ДМетАУ та Нікопольського заводу феросплавів за допомогу в проведенні досліджень, узагальнених в дисертації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

1. Сучасний стан технології виплавки та розливання силікомарганцю.

Марганець використовується, в основному (понад 90%), у чорній металургії при виплавці сталі у вигляді різноманітних феросплавів. При цьому середні витрати марганцю на тону сталі становлять 2...9 кг. Велика кількість марок сплавів обумовлює необхідність виплавки марганцевих феросплавів широкого сортаменту. З усього сортаменту марганцевих феросплавів силікомарганець займає головне місце, що обумовлено його перевагою при раскисленні та легуванні сталі порівняно з сумісним введенням феромарганцю та феросиліцію.

Особливістю одержання силікомарганцю є сумісне відновлення оксидів марганцю та кремнію вуглецем коксу із марганцево-силікатного розчину, багатого кремнеземом.

Розвиток позапічних процесів рафінування і легування сталі, підвищили вимоги як до хімічного, так і гранулометричного складу феросплавів. Сучасний погляд на механізм легування сталі вимагає застосування у сталеплавальному виробництві тільки сортированих по дрібності феросплавів. Якість отриманого металу в багато чому залежить від технології його розливання, досконаленню якої не надається належної уваги. У свою чергу технологія розливання феросплавів в значній мірі впливає на ТЕР процесу.

Існує два методи розливання: через проміжні ємкості і розливання безпосередньо з лютки печі з використанням скімеру. Обидва методи мають як переваги, так і недоліки. При застосуванні для розливання ківшів метал отримують більш густинний і вільний від шлаку, куски металу при цьому однорідні і некондеційного дрібняку утворюється менше. Недоліком даного методу є високі капітоловкладення і наявність вагшого обладнання такого як, мостові крани великої вантажопідйомності, ковшові візки, великий парк ківшів. Використання для розливання скімера не потребує великих витрат, але при його недостатньо надійній роботі метал забруднюється шлаком і при змінних жолобах утворюється велика кількість скрапу, який потім іде на переробку. Крім цього важко контролювати висоту наповнення виливниць металом і контролювати вагу сплаву, який розливається.

В теперішній час існують три основних технології розливання марганцевих феросплавів: шарове розливання у великі поддони або траншей, розливання в стаціонарні форми, розливання за допомогою ливарних машин. При цьому використовують як ківші, так і скімер. Порівнення різних технологій розливання показало, що найбільш афективною є технологія із застосуванням конвейрних ливарних машин, яка забезпечує зниження некондеційного дрібняку 0...20 мм до 6...12%, проти 25...35% при розливанні в піддони.

2. Теоретичне та експериментальне дослідження технологічних факторів, що впливають на процес кристалізації силікомарганцю.

Швидкість затвердіння силікомарганцю має великий вплив на якість металу та продуктивність ливарних машин. Зіставлення швидкості твердіння силікомарганцю у різних зонах по висоті аливка з структурою надає можливість стверджувати про придатність існуючих технологій розливання для отримання аливка з необхідними фізи-

ко-хімічними властивостями. Крім цього, таке зіставлення дозволить окреслити шляхи, як потрібно змінити технологію для отримання аливка з заданною структурою.

Твердження силікомарганцю триває в інтервалі температур ліквідус-солідус. Тому у аливку існують три неаалежні зони: рідка у центрі аливка, зона затверділого металу біля стінок виливниці, двофазна зона між рідкою та затверділою зонами. Наявність двофазної зони обумовлює утворення усадочних дефектів і пористості у аливку, які зростають з ростом протягу двофазної зони. Ширина двофазної області зменшується під впливом будь якого фактору, який сприяє зростанню градієнту температур у аливку.

Процес твердження силікомарганцю залежить від його теплофізичних характеристик: теплопровідності (λ), температуропровідності (a), теплоти кристалізації (Q), густини (γ), а також визначається температурними умовами процесу розливання - температури заливки металу у виливницю ($T_{пл}$), інтенсивністю зовнішнього охолодження, від якого в свою чергу залежить температура поверхні аливку ($T_{зл}$). Теплова теорія лиття вказує на те, що великий вплив на процес кристалізації чинить теплопровідність металу.

Теплопровідність силікомарганцю розраховували по методиці, яка заснована на теорії термодинаміки незворотніх процесів А.І.Вейніка, за рівненням:

$$\lambda = \frac{C_m \cdot T \cdot R_m}{\rho} \quad (1)$$

де:

C_m - мольна теплоємність сплаву при постійному

тиску, кДж/(моль.К)

R_m - коефіцієнт пропорціональності сплаву

T - температура сплаву, К

ρ - питомий електроопір сплаву, Ом·м.

Величину теплопровідності силікомарганцю розраховували в інтервалі температур 573-1573 К. Аналіз підсумків розрахунків показав, що теплопровідність силікомарганцю зростає з підвищенням вмісту марганцю в сплав і зменшенням вмісту кремнію, а залежність її від температури має екстремальний характер. Максимальні значення теплопровідності ($\lambda=17$ Вт/м·К) досягаються за 1393К. Отримані залежності теплопровідності силікомарганцю від хімічного складу та температури були враховані при дослідженні механізму

твердження рідкого силікомарганцю у виливницях ливарних машин.

Низька теплопровідність силікомарганцю і відносно висока температура кристалізації, яка розраховувалась як півсума температур ліквідус і солідус, а також висока охолоджувальна здібність чавунних виливниць ливарних машин, свідчить, що у невеликих аливках протяжність двофазної області мала і переважає поступовний характер кристалізації.

Данні положення дозволили використовувати для дослідження процесу твердіння силікомарганцю закон квадратного кореня :

$$X - K \cdot \sqrt{t} \quad (2)$$

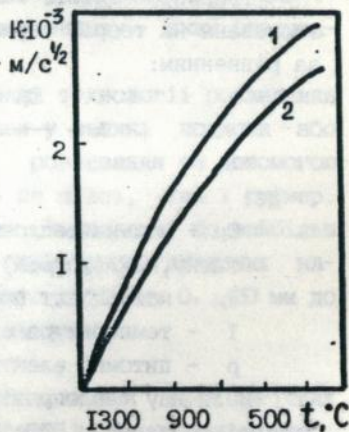
Коефіцієнт твердження (K), який враховує конкретні умови твердження сплаву, розраховували графоаналітичним методом із застосуванням ЕОМ, по трансцендентному рівнянню Стефана:

$$\frac{\lambda \cdot (t_{кр} - t_{сл})}{\sqrt{a} \cdot \operatorname{erf}(K/2 \cdot \sqrt{a})} \cdot \exp\left(-\frac{K^2}{4a}\right) + \frac{\lambda \cdot (t_H - t_{кр})}{\sqrt{a} \cdot \operatorname{erfc}(K/2 \cdot \sqrt{a})} \cdot \exp\left(-\frac{K^2}{4a}\right) - \frac{\sqrt{\pi} \cdot Q \cdot \gamma}{2} \cdot K, \quad (3)$$

Отримані залежності (мал.1) свідчать, що із зниженням температури поверхні аливка коефіцієнт K, який визначає швидкість твердження силікомарганцю, зростає для усіх визначених концентрацій марганцю. З підвищенням перегріву металу коефіцієнт твердження зменшується.

При розливанні силікомарганцю на ливарних машинах у відкриті зверху виливниці, аливок втрачає тепло випромінюванням в атмосферу, а нижня поверхня аливку втрачає тепло теплопровідністю у виливницю. Температура верхньої поверхні аливку у процесі руху виливниць від моменту заливання до скиду в короба знижується від початкової температури розливання до 860°C.

Співвідношення $X_1/X_2 = 2 \dots 5$, де X_1 - товщина стінки виливниці, X_2 - пів товщини аливка свідчить, що виливниці ливарних машин є неохолоджувальними. У даному випадку температуру нижньої поверхні



Мал.1 Залежність коефіцієнта твердження силікомарганцю від температури поверхні аливка:
1- $T_H=1300^\circ\text{C}$, 2- $T_H=1400^\circ\text{C}$

аливка визначали, як середньо калориметричну для системи: аливок-виливниця.

Встановлено, що з підвищенням висоти аливка і початкової температури виливниця, середньо калориметрична температура зростає і дорівнює 500°C для аливків висотою 40 мм і 720°C - для 90мм. Застосування нижнього водяного охолодження виливниць в початковий період розливання практично не впливає на температуру нижньої поверхні аливка і не сприяє зростанню коефіцієнту твердження.

Досліджена кінетика твердження і час необхідний для повного твердження аливків різної товщини (мал.2). Математичною обробкою розрахованих та експериментальних даних встановлені залежності товщини зростання затверділого шару металу (S) при твердненні силікомарганцю в залежності від часу:

1. Сумарна: $S = -8.972 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^2 + 1.877 \cdot 10^{-4} \cdot \tau + 1.999 \cdot 10^{-3}$ (4)

2. Для фронту кристалізації що рухається зверху:
 $S = -2.668 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^2 + 6.331 \cdot 10^{-5} \cdot \tau + 6.931 \cdot 10^{-5}$ (5)

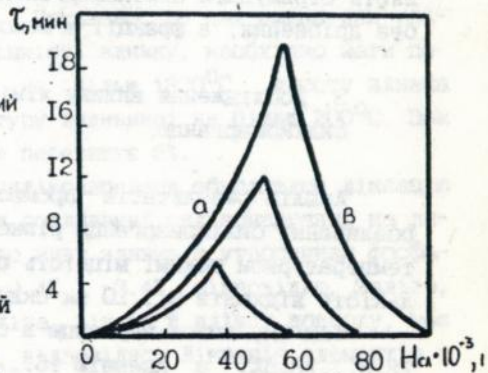
3. Для фронту кристалізації що рухається знизу:
 $S = -5.217 \cdot 10^{-8} \cdot \tau^2 + 1.093 \cdot 10^{-4} \cdot \tau + 3.739 \cdot 10^{-3}$ (6)

Методом виливання рідкого залишку в неповністю стверділих аливків експериментально встановлена величина коефіцієнту твердження, м/с:

Фронт твердження	Аналитичне значення	Експериментальне значення
верхній	$1.10 \cdot 10^{-3}$	$1.03 \cdot 10^{-3}$
нижній	$1.86 \cdot 10^{-3}$	$1.80 \cdot 10^{-3}$

В промислових умовах досліджений вплив швидкості твердження силікомарганцю на міцність аливків. Встановлено, що найменший вихід некондиційного дрібняку спостерігається при швидкості твердження $(1...1.4) \cdot 10^{-4}$ м/с і теплоакуюлюючій здібності виливниць $(m \cdot T_{ал} \cdot V_{ал} + C_{ал} \cdot T_{сл} \cdot V_{сл} \cdot C_{сл}) - 4.5...6$.

Фракціонований силікомарганець можливо отримувати використовуючи одну із трьох технологічних схем. Перша є класичною і передбачає розливання металу у стандарт-



Мал.2 Кінетика твердження аливків силікомарганцю: а-нижній фронт твердження в-верхній фронт твердження

ні виливниці з висотою наповнення 90...105 мм, послідовне дріблення у щоккових дробилках та розсів на грохоті з розподілом на потрібні фракції. При цьому доля некондиційного дрібняку розміром 0-10 мм складає 11...15%, а 0-20мм -15...17%, від маси металу, що піддається дрібленню.

Сучасна теорія розвитку тріщин і механіки руйнування металів, для опису переходів від стану стабільності до руйнування застосовує два рівноцінні критерії: енергетичний та силовий. З метою виключення стадії дріблення з технологічної схеми фракціонування, запропоновано змінити силовий підхід енергетичним, що виявилось у використанні для розливання силікомарганцю виливниць з рівною кількістю та конфігурацією додаткових розподільних пережимів або зменшенням висоти зливка в стандартній виливниці до 60...80 мм, що надає високі термічні навантаження у зливку, що затвердіває.

В промислових умовах досліджені дві конструкції виливниць: ячеїсті, з 18 та 24 ячейками, створених повадовженими та поперечними пережимами, а також стержневі з двома повадовженими пережимами по усій довжині виливниці. Встановлено, що обидві конструкції виливниць, а також розливання у зливки висотою 60...80 мм, дозволяють отримувати силікомарганець фракції з нижньою межею -20 мм, без дріблення, а фракції з межею -10 мм і без розсіву.

3. Дослідження впливу хімічного складу на процес розливання силікомарганцю.

Аналіз результатів промислових досліджень засвідчив, що при розливанні силікомарганцю різного хімічного складу при однаковому температурном режимі міцність отриманих зливок неоднакова, а кількість відходів 0...20 мм складає 5...15%.

Так як, вміст марганцю в сплаві практично незмінний і складає 72.5...73.5%, а кремнію 16...20%, то основний вплив на міцність зливок виявляє вміст кремнію у сплаві. Зростання масової долі кремнію в сплаві сприяє зростанню температури кристалізації силікомарганцю, зменшенню теплопровідності та густини, що в свою чергу сприяє більш тривалому перебуванню сплаву у рідкому стані і розвитку ліквідаційних процесів, що приводить до крихкості руйнування зливок. Зростання крихкості силікомарганцю з ростом вмісту кремнію підтверджується також зниженням часового опору при стисне-

ні, котре дорівнює 107.2 МПа для силікомарганцю з 17% Si та 89.4 МПа при 20% Si, що, можливо, обумовлено зростанням доли силіцидної фази, яка має меншу мікротвердість у порівнянні з карбосиліцидом. Були проведені промислові дослідження по впливу вмісту кремнію в сплаві та початкової температури розливання силікомарганцю на міцність аливок. Для досліджень вибрали плавки, що були розлиті на одній ливарній машині і піддані розсіву з метою визначення кількості дрібняка фракції 0-20 мм. Плавки розділили на дві групи в залежності від початкової температури розливання. Встановлено, що вихід некондеційного дрібняка (%М) зростає як з підвищенням вмісту кремнію, так і початкової температури розливання і може бути розрахований за рівняннями:

$$\text{при } t_{\text{р}}-1290\dots1340^{\circ}\text{C } \%М - 16.1 + 1.12 \cdot [\text{Si}] \quad (7)$$

$$\text{при } t_{\text{р}}-1350\dots1390^{\circ}\text{C } \%М - 15.0 + 1.31 \cdot [\text{Si}] \quad (8)$$

Зростання виходу дрібняка з ростом початкової температури розливання визначається зростанням протяжності двофазної зони і, як слідство, розвитком усадочних дефектів і зростанням залишкових ливарних навантажень.

Послідовне твердження силікомарганцю, а також наявність інтервалу температур кристалізації сприяє наявності у аливках усадочної раковини та порожнин на її кордоні. Кількість усадочних дефектів зростає з зростанням перегріву металу, висоти аливка і зменшення інтенсивності його охолодження. Показано, що для зменшення усадочних дефектів, які знижують міцність аливку, необхідно мати початкову температуру розливання не більш 1320°C , висоту аливка 70...80 мм, а початкову температуру виливниці не більш 200°C . При цьому обсяг усадочних дефектів не перевищує 5%.

Низька швидкість твердження силікомарганцю обумовлює ліквідацію елементів по висоті аливка. При розливанні силікомарганцю на ливарних машинах марганець ліквідує до низу аливка з утворенням фосфатів марганцю, ступінь ліквідації -0.4% і -3.4%, відповідно. Залізо, утворюючи з кремнієм силікати заліза, ліквідує в аливку доверху, має ступінь ліквідації + 1.6% і +2.3%, відповідно. Ліквідація елементів у аливку силікомарганцю сприяє утворенню по межах зерен нової фази, яка знижує його міцність. Із зменшенням висоти аливка і зростанням швидкості твердження ступінь ліквідації зменшується, але характер її залишається незмінним.

Особливості структурного будівництва і складна фазова будова силікомарганцю сприяють не тільки наявності ліквідації елементів у

зливку, а і отриманню фракцій з різним складом елементів. Силіко-марганець із зменшенням крупності значно збіднюється марганцем ($\Delta a=4.4\%$). Для кремнію та вуглецю утворюється протилежна залежність: найбільший вміст кремнію - у крупній фракції ($\Delta a=1.5\%$), а вуглецю у пиловидній ($\Delta a=0.22\%$). У дрібнодисперсних частках більший вміст сірки ($\Delta a=0.010\%$), а у фракціях менш 2.5 мм декілька менше фосфору ($\Delta a=0.05\%$).

У марганцю, порівняно з залізом, розчиняється значно більша кількість водню $\approx 65 \text{ см}^3/100\text{г}$ при 1573 К. Висока розчинність водню як у чистому марганцю, так і у марганцевих феросплавах, обумовлює необхідність застосування технології виплавки та розливання, яка забезпечує допустимо низький його вміст. Основним джерелом надходження водню у силікомарганець є волога шихтових матеріалів та протипригарне покриття ливарного посуду.

Показано, що розчинення водню в силікомарганці зростає з підвищенням температури і вмістом марганцю. Зростання вмісту заліза і кремнію приводить до зниження розчинності водню в сплаві. Встановлено, що найбільш густинні зливки, які отримані при використанні для протипригарного покриття виливниць ливарних машин коксільно-графітовою суміші.

4. Дослідження впливу додатку залізовмісних матеріалів на фізико-хімічні процеси виплавки та розливання силікомарганцю.

В теперішній час основна кількість силікомарганцю, що виплавляється на феросплавних заводах України, має марку СМн 17 з вмістом марганцю 72...73% і кремнію 15...20%. Підвищений вміст марганцю, проти передбаченого стандартом (65%) приводить до значних втрат останнього.

Температура початку відновлення монооксиди марганцю вуглецем дорівнює 1310°C . При більш високих температурах ($\approx 1527^\circ\text{C}$) має місце відновлення кремнію, чому у значній мірі сприяє наявність раніше утвореного металевого розчину.

В промислових умовах відновлення закиси марганцю йде в присутності металевого заліза, з утворенням розчинів, що впливає на термодинаміку і кінетику процесу. Розрахована нами теоретична температура початку відновлення закиси марганцю в присутності металевого заліза перебуваючи в межі $1029...1044^\circ\text{C}$, що добре узгоджується з даними, які отримані дослідним шляхом.

Беручи за основу отримані дані, розробили і дослідили у промислових умовах технологію виплавки силікомарганцю з базовим вмістом марганцю.

Аналіз підсумків промислових випробувань (таблиця) підтвердив дані лабораторних досліджень, що виявилось у зростанні питомої продуктивності печі на 10.9%, вилучення марганцю на 4.1%, зниження питомої витрати електроенергії на 110 кВт·г/б.т. Найкращі результати отримані по варіанту 4, де також має місце зниження витрат відновника. На основі промислових даних одержані залежності вилучення марганцю (η), питомої витрати електроенергії (Q), продуктивності печі на 1МВт потужності (Π):

$$\eta - 3.8799 \cdot 10^{-3} \cdot [\text{Fe}]^2 + 0.3818 \cdot [\text{Fe}] + 79.091 \quad (9)$$

$$Q - - 0.5555 \cdot [\text{Fe}]^2 - 1.6666 \cdot [\text{Fe}] + 3922.22 \quad (10)$$

$$\Pi - - 4.0556 \cdot 10^{-3} \cdot [\text{Fe}]^2 + 0.1448 \cdot [\text{Fe}] + 5.307 \quad (11)$$

Таблиця

Показники виплавки силікомарганцю з застосуванням залізовмісних матеріалів

Показники	Варіанти			
	1	2	3	4
Потужність печі, МВт	35.1	36.9	40.5	40.5
Продуктивність печі, б.т./ф.доба	208	234	263	266
Питома продуктивність, б.т./МВт	5.93	6.35	6.50	6.54
Питома втрата шихтових матеріалів, кг/б.т.:				
- марганцева сировина (48%Mn)	1647	1607	1592	1590
- кварцит	295	277	270	269
- кокс	430	431	440	424
- залізорудні окотити	--\--	64	96	--\--
- чавунна стружка	--\--	--\--	--\--	55
Витрата електроенергії, кВт·г/б.т	3900	3850	3810	3790
Вилучення марганцю, %	80.1	82.3	83.6	84.2
Хімічний склад металу, % мас.				
- марганець	73.6	70.4	68	70.9
- кремній	17.7	18.3	18.1	18.5

Міцність зливок силікомарганцю з підвищенням вмісту заліза у сплаві також зростає. Набільш міцні зливки отримані для сплаву з

вмістом заліза 11.5...14%, кремнію 17...18%, розлитого при температурі 1290...1320°C. При розсвіі кількість дрібняку фракції 0-5мм дорівнювала 2.8...3.2%, проти 5...6% для сплаву з промисловим вмістом елементів.

Механічну міцність аликвів при перевантаженні оцінювали шляхом трикратного скидання металу з висоти 2^x метрів. При цьому після трьох перевантажень кількість дрібняку для дослідного металу зросла на 0.5...1.5%, а для промислового цей показник дорівнював 3...4.8%. Для силікомарганцю фракції 10-70мм, отриманого шляхом дріблення та розсвіу сплава розлитого у стандартні виливниці, з підвищенням масової долі заліза і зниженням вмісту марганцю та кремнію до показників базових величин, вихід дрібняку фракції 0-10 мм знизився з 10.2 до 5.8%.

Металлографічними дослідженнями встановлено, що в дослідному силікомарганці формуються комплексні структурні фази- силікокарбіди, які характеризуються більш високою в'язкістю та мікротвердістю.

5. Техніко-економічна оцінка процесу машинного розливання силікомарганцю.

Технологічна переробка марганцевої сировини до отримання товарного силікомарганцю складається із наступних стадій: виплавці, випуску, розливання. На кожній стадії мають місце втрати як ведучого елемента-марганцю, так і готового металу. Проведенням балансу марганцю на печах РІЗ-63І1 визначили структуру втрат марганцю на усіх ланках технологічної переробки.

Аналіз отриманих даних засвідчив, що основні витрати при виплавці силікомарганцю припадають на долю відвального шлаку-11.6%, відходів загущення-2.78%, розливанні металу-1.67%, від заданого на відновлення. Кількість втраченого металу при фракціонуванні залежить від технології і вимагаємих розмірів фракцій. Обробкою промислових даних отримані залежності вилучення марганцю (η) і питомої втрати електроенергії (Q) від кількості дрібняку, будь якої фракції:

$$\eta = 0.2518 \cdot [XМ] + 80.6241 \quad (13)$$

$$Q = 11.1746 \cdot [XМ] + 3979.971 \quad (14)$$

Вилучення стадії дріблення силікомарганцю дозволило знизити питому витрату електроенергії на 110 кВт·г/6.т, підвищити вилучення

марганцю на 3%.

Продуктивність ливарних машин залежить від ваги плавки і часу, необхідного для повного твердження аливка. Час повного твердження обумовлюється тривалістю перебування металу у виливниці і залежить від висоти її наповнення рідким металом. Підсумки розрахунків (мал.3) засвідчили, що продуктивність ливарних машин знижується із зменшенням швидкості руху конвейєрів, а найкращі показники продуктивності досягаються: для швидкості 10м/с-при висоті аливка 0.06м, 7 м/с-0.07 м, 5 м/с-0.08м, і зі зниженням швидкості пересуваються у бік

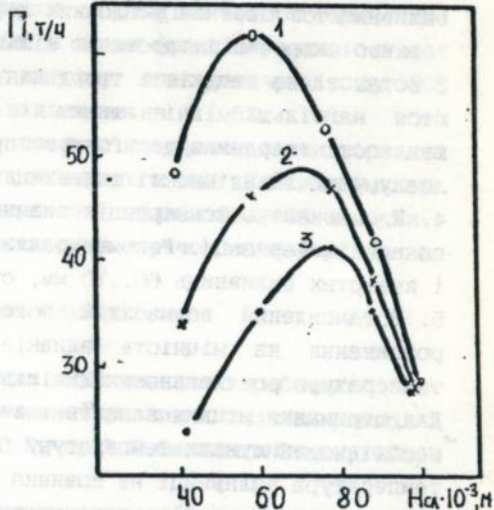
зростання висоти аливка.

Одержання фракціонованого силікомарганцю із застосуванням розроблених технологій дозволяє отримувати економічний ефект, порівняно із діючими методами, у розмірі:

Фракція, мм	Ефект, грн/т
5 - 100	15.3
10 - 80	19.9
20 - 80	11.1

що дорівнює понад 2000000 гривень у рік.

За рахунок зниження питомих витрат шихтових матеріалів та електроенергії при виплавці силікомарганцю із застосуванням у шихту залізовмісних матеріалів одержано зниження собівартості сплава на 17.5 грн/т.



Мал.3 Залежність продуктивності ливарних машин від висоти аливка у виливниці. Швидкість конвейєрів, м/хвл.: 1-10; 2-7; 3-5.

ВИСНОВКИ

1. З застосуванням теплової теорії лиття розроблена методика розрахунку процесу твердження силікомарганцю у виливниках ливарних машин. Визначені залежності теплопровідності силікомарганцю від хімічного складу та температури. Експериментальні дослідження коефі-

цієнта твердження силікомарганцю при розливанні на ливарних машинах підтвердили достовірність розробленої аналітичної методики. Встановлено, що з підвищенням початкової температури розливання і зменшенням вмісту марганцю коефіцієнт твердження знижується і дорівнює: для фронту кристалізації, який рухається зверху зливка - $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-0.5}$ і знизу - $1.86 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^{-0.5}$.

2. Досліджений вплив товщини виливниці на коефіцієнт твердження. Встановлено, що при зменшенні товщини стінки виливниці коефіцієнт твердження знижується, із зростанням практично не змінюється. Досліджена кінетика твердження зливок силікомарганцю різної висоти. Показано, що основна втрата тепла відбувається теплопроводністю у виливницю. Утворення усадочних дефектів сприяє крихкому руйнуванню верхньої корочки і зростанню кількості некондиційного дрібняку.

3. Встановлена швидкість твердження силікомарганцю при якій створюються найбільш міцні зливки - $(1.0 \dots 1.4) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$. Оптимальні швидкості твердження досягаються при висоті зливку 60...80 мм і теплоізолюючій здібності виливниці - 4.5...6.

4. Удосконалена конструкція виливниць для отримання фракціонованого силікомарганцю. Рекомендована висота зливок для стандартних і ячеїстих виливниць 60..70 мм, стержневих - 80 мм.

5. Встановлений вплив хімічного складу і початкової температури розливання на міцність зливок. З підвищенням вмісту кремнію і температури розливання кількість некондиційного дрібняку зростає. Для отримання міцних зливок і зменшення об'єму усадочних дефектів необхідно знижувати температуру розливання до 1320°C , а початкова температура виливниці не повинна перевищувати 200°C . Ліквіація елементів у зливку силікомарганцю знижує його міцність і сприяє отриманню фракцій різних по вмісту елементів. Розроблена технологія забезпечує зниження ліквіаційних процесів у зливку.

6. Металографічними дослідженнями ідентифіковані склад, структура та області існування в силікомарганці "світлої" фази силікокарбіда $[\text{Mn, Fe}]_{13}\text{Si}_3\text{C}_2$ і "сірої" фази $[\text{Mn, Fe}]_5\text{Si}_3$. Дрібнокристалева структура існує в пробах сплаву, кристалізація якого тривала поблизу поверхні охолодження, а крупнокристалева структура характерна для внутрішньої частини зливку.

7. Розрахована розчинність водню у силікомарганцю, як сплаву системи Mn-Si-Fe-C-P , в залежності від хімічного складу та температури. Mn-Si-Fe-C-P . Показано, що розчинність водню у силікомарганцю зростає з ростом температури і вмісту марганцю. З зростанням в

сплаві вмісту заліза та кремнію розчинність водою знижується. Встановлений склад протипригарного покриття виливниць ливарних машин, який забезпечує отримання найбільш густинних зливок.

8. В лабораторних умовах досліджений вплив заліза на термодинаміку і кінетику відновлення закиси марганцю. Встановлено, що додаток металевого заліза підвищує швидкість і знижує температуру початку відновлення марганцю, яка в присутності заліза знижується до 1029...1044⁰С. Розроблена і в промислових умовах випробована технологія виплавки силікомарганцю з базовим вмістом марганцю. Зростання вмісту заліза у силікомарганцю сприяє зниженню виходу некондиційного дрібняку при фракціонуванні на 3...6%.

9. Складений скріяний баланс марганцю по стадіях технологічної переробки і встановлено, що вилучення з схеми фракціонування стадії дріблення дозволяє знизити питому витрату електроенергії на 160 кВт·г/б.т, а вилучення марганцю підвищити на 3...5%.

10. З використанням даних по часу повного твердження зливок різної висоти оптимізована продуктивність ливарних машин. Найбільші значення продуктивності досягаються при масі плавки 33...36 тон, висоті зливку 65...70 мм, та швидкості руху стрічок конвейерів ливарної машини 10 м/хвл.

Основний зміст дисертації опубліковано

у роботах:

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Совершенствование технологии машинной разливки силікомарганца // И. И. Люборец, Г. Д. Ткач, А. Г. Кучер, И. Г. Кучер, И. Ю. Филиппов / Сталь, 1996, №3, С. 26-29.

2. Эффективность использования иаложниц различной конструкции для машинной разливки силікомарганца // И. И. Люборец, А. Г. Кучер, И. Ю. Филиппов, Г. Д. Ткач, И. Г. Кучер / Сталь. 1997. №4. С. 37-40.

3. А. В. Коваль, А. Г. Кучер, Г. Д. Ткач, И. Г. Кучер, И. Ю. Филиппов // Исследование условий кристаллизации силікомарганца при машинной разливке / Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. №4. С. 18-21.

4. Коваль А. В., Кучер А. Г., Ткач Г. Д., Кучер И. Г., Филиппов И. Ю. Влияние желеасодержащих добавок на процесс плавки и разливки силікомарганца // Сталь. 1997. №5. С. 33-35.

5. И. Ю. Филиппов, А. А. Мельниченко, А. Г. Кучер. Получение прочных слитков силікомарганца // Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов." Тез. докладов Международной на-

учно-практической конференции. Днепропетровск, 1994г. с. 39-40.

6. А. Г. Кучер, И. Ю. Филиппов. Выплавка силикомарганца с использованием железосодержащих материалов // Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов. " Теа. докладов Международной научно-практической конференции. Днепропетровск, 1994г. с. 39-40.

7. Металлографические исследования структуры промышленного силикомарганца с повышенным содержанием марганца // В. Ф. Лысенко, В. А. Гладких, И. Ю. Филиппов, Д. А. Лях и др. Сб. трудов международной научно-практической конференции "Теория и практика электротермии ферросплавов". г. Никополь, 1996г. с. 45-48.

8. Исследование процесса кристаллизации силикомарганца при машинной разливке // А. В. Коваль, А. Г. Кучер, И. Ю. Филиппов и др. Сб. трудов международной научно-практической конференции "Теория и практика электротермии ферросплавов". г. Никополь, 1996г. с. 50-51.

9. Влияние кремния на прочность слитка силикомарганца // И. Ю. Филиппов, А. Г. Кучер. Сб. трудов международной научно-практической конференции "Теория и практика электротермии ферросплавов". г. Никополь, 1996г. с. 127-128.

10. Исследование влияния химического состава силикомарганца, температурного и технологического режимов разливки на качество слитка сплава // И. И. Люборец, В. А. Гладких, И. Ю. Филиппов и др. Сб. трудов международной научно-практической конференции "Теория и практика электротермии ферросплавов". г. Никополь, 1996г. с. 123-125.

11. Оптимизация машинной разливки силикомарганца // А. Г. Кучер, И. Г. Кучер, И. Ю. Филиппов и др. Сб. трудов международной научно-практической конференции " Теория и практика электротермии ферросплавов ". г. Никополь, 1996г. с. 148-149.

12. Влияние добавок в шихту железорудных окатышей на процесс плавки и разливки силикомарганца // А. Г. Кучер, Г. Д. Ткач, И. Ю. Филиппов и др. Сб. трудов международной научно-практической конференции "Теория и практика электротермии ферросплавов". г. Никополь, 1996г. с. 145-148.

13. А. С. СССР № 1661237

14. А. С. СССР № 1636469

15. Решение о выдаче патента Украины по заявке №95125434.

16. Решение о выдаче патента Украины по заявке №95125435

Аннотация

Филиппов И.Ю. Исследование технологии разливки силикомарганца с целью снижения отходов при получении фракционированного металла.

Работа посвящена решению актуальной проблемы увеличению объемов производства фракционированного силикомарганца с минимальным количеством отходов. Рассмотрены и критически обобщены теоретические и экспериментальные работы по совершенствованию технологий выплавки и разливки силикомарганца, показаны преимущества использования разливочных машин с ленточными конвейерами. Разработан механизм затвердевания силикомарганца в изложницах разливочных машин, теоретически обосновано и экспериментально подтверждено влияние скорости кристаллизации и химического состава силикомарганца на прочность получаемых слитков сплава. Разработана и освоена технология выплавки силикомарганца с использованием железосодержащих материалов, обеспечивающая улучшение технико-экономических показателей процесса. На основании проведенных исследований оптимизирована производительность разливочных машин.

Марганец, кремній, термодинаміка, розливання силікомарганцю, виливниця, міцність, некондиційний дрібняк.

АНОТАЦІЯ

Філіппов І.Ю. Дослідження технології розливання силікомарганцю з метою зниження кількості відходів при отриманні фракціонованого металу.

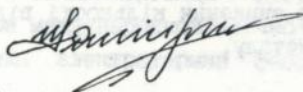
Робота присвячена рішенню насущної проблеми зростання об'єму виробництва фракціонованого силікомарганцю з мінімальною кількістю відходів. Розглядені та критично узагальнені теоретичні та експериментальні роботи по удосконаленню технологій виплавці і розливання силікомарганцю, вказані переваги використання ливарних машин з стрічковими конвейерами. Розроблен механізм твердження силікомарганцю у виливницях ливарних машин, теоретично обумовлен і експериментально підтвержен вплив швидкості кристалізації та хімічного складу силікомарганцю на міцність отримуваних зливків сплаву. Розроблена і впроваджена технологія виплавки силікомарганцю із

застосуванням залізвмісних матеріалів, забезпечуюча поліпшення техніко-економічних показників процесу. На підставі проведених досліджень оптимізована продуктивність ливарних машин.

Filippov I.U. The research of technology castings of silicomanganese with the aim of reducing of waste when getting metal of different shape.

The work is devoted to solving the actual problem of increasing the amount of the work with fractionating silicomanganese with the minimum of waste. Theoretical & experimental works in improvement the technology of meltings and castings of silicomanganese are taken and made into a whole, the advantages of using castings machines are shown. The mechanism of hardening silicomanganese in the shape of castings machines is made, the influence of the speed crystallization and chemical composition of silicomanganese on solidity of the alloy's ingot is theoretically taken and experimentally made into a whole. The improved technical & economical index technology of meltings of silicomanganese with the help of iron-containing materials is mastered. According to these researches the productivity of castings machines increased.

Manganese, silicic, thermodynamics, silicomanganese's castings, shape, solidity, waste.



... ..

... ..

The work is devoted to solving the actual problem of increasing the speed of the work with fractional distillation apparatus with the aim of reducing the volume of waste heat, getting rid of all unnecessary life work and making a whole, the advantages of other existing positions are given. The solution of hardware will progress in the shape of casting machines in case the influence of the new crystallization and chemical composition of alloys will be studied in order to make a whole as theoretically forecasted experimentally was made a whole. The inventive technical & economic work technology & better of all changes with the help of invention as well as in general. According to their research the productivity of casting machine increased.

... ..

Signature

Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header, which is mostly illegible due to fading and bleed-through.

435930

AB 38911

AB 38911