

**Министерство образования Украины**  
**Приазовский государственный технический университет**  
**На правах рукописи**

**СЕМЕНЧЕНКО Петр Михайлович**

**РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ  
УЛУЧШЕННОГО КАЧЕСТВА  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ  
КОМПЛЕКСНЫМИ ЖИДКИМИ ЛИГАТУРАМИ**

**Специальность 05.16.02 - «Металлургия черных металлов»**

**Автореферат**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Мариуполь 1996 г.**

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00759706 (Y)

Министерство образования Украины

Приазовский государственный технический университет

На правах рукописи

СЕМЕНЧЕНКО Петр Михайлович

**РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ УЛУЧШЕННОГО КАЧЕСТВА  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ  
КОМПЛЕКСНЫМИ ЖИДКИМИ ЛИГАТУРАМИ**

Специальность 05.16.02 - «Металлургия черных металлов»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Мариуполь, 1996 г.

АВ 34.251

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на металлургическом комбинате «Азовсталь» имени С.Орджоникидзе и в Приазовском государственном техническом университете.

Научный руководитель - доктор технических наук  
ПОЖИВАНОВ Михаил Александрович.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
БОЙЧЕНКО Борис Михайлович,  
кандидат технических наук  
БУРОВ Сергей Давыдович.

Ведущее предприятие - Донецкий металлургический завод.

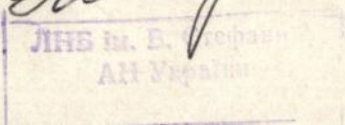
Защита состоится 28 марта 1996 года в 14.30 на заседании специализированного ученого совета К.14.01.03 при Приазовском государственном техническом университете по адресу: 341000, г. Мариуполь Донецкой обл., пер. Республики, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Приазовского государственного технического университета.

Автореферат разослан 27 февраля 1996 года.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор техн.наук, профессор

  
Маслов В.А.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Необходимость повышения качества металлопродукции, снижения затрат на ее производство, расширение сортамента остаются важнейшими задачами народного хозяйства и в новых условиях развития экономики. На решение этих задач направлена настоящая работа, позволяющая наряду с улучшением качества металла повысить эффективность производства конвертерной стали.

Разработка, освоение и применение технологии выплавки конвертерной стали с жидкими лигатурами значительно повышают возможности получения экономически выгодной стали с расширением сортамента и улучшением качественных характеристик стали и являются весьма актуальными при производстве конкурентоспособной металлопродукции.

Производство широкого сортамента лепированной стали с вводом жидкой лигатуры в ковш не требует значительного перегрева металла в конвертере, что дает возможность уменьшить расход жидкого обессеренного чугуна и повысить расход лома.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Целью работы является разработка и освоение нового технологического процесса производства конвертерной стали, включающего выплавку в большегрузных 350-тонных конвертерах, внепечную обработку стали комплексными рафинирующими жидкими лигатурами, выплавленными в дуговых печах специального отделения конвертерного цеха, непрерывную разливку на слябовых УНРС криволинейного типа методом «плавка на плавку».

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- изучение температур плавления и вязкостных свойств жидких легирующих расплавов систем Fe-Si-Mn, Fe-Si-Mn-Cr-V, Fe-Si-Mn-Cr-V-Ni-Cu и закономерностей гидродинамических и тепловых процессов, сопровождающих легирование стали жидкими лигатурами;

- экспериментальное исследование и установление возможности выплавки жидких лигатур требуемого состава и их применения для производства конвертерной стали в условиях комбината «Азовсталь»;

- выбор оборудования и разработка технологических процессов производства комплексных рафинирующих жидких лигатур и обработки ими конвертерной стали в 350-тонном сталеразливочном ковше;

- изучение особенностей технологических процессов получения конвертерной стали с обработкой ее в ковше комплексными жидкими лигатурами заданного состава;

- исследование качества металла, полученного по опытной технологии;
- определение технико-экономической эффективности нового технологического процесса производства конвертерной стали.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Определены значения мощности, среднеинтегральной и удельной объемной мощности перемешивания металла в 350-т сталеразливочном ковше с жидкой лигатурой падающей струей металла при выпуске из конвертера. Показано, что наибольшая эффективность обработки стали жидкими лигатурами имеет место при введении их в ковш в начале выпуска полупродукта из конвертера.

В лабораторных условиях на современном оборудовании изучены плавкостные и вязкостные свойства легирующих расплавов на основе Fe-Si-Mn, Fe-Si-Mn-Cr-V, Fe-Si-Mn-Cr-V-Ni-Cu. Экспериментально определены температуры начала кристаллизации лигатур различных составов и значения вязкости этих расплавов при разных температурах.

На основании изучения закономерностей тепловых процессов при внепечной обработке стали жидкими лигатурами показано, что в условиях МК «Азовсталь» возможно значительное снижение температуры стали перед выпуском из конвертера в ковш при условии последующей внепечной обработки жидкой лигатурой.

Экспериментально установлено, что внепечная обработка стали комплексными лигатурами обеспечивает дополнительное рафинирование со средней степенью десульфурации 49%, что в 2-3 раза выше, чем для стали, выплавленной по обычной технологии.

С помощью моделирования на ЭВМ определены оптимальные условия раскисления и легирования стали с применением жидких лигатур.

С применением устройств для замера окисленности стали УКОС-1 определены значения активности кислорода в стали в различные периоды ее производства и установлено, что окисленность стали при использовании комплексных жидких лигатур на стали 09Г2С ниже окисленности стали сравнительных плавов по обычной технологии.

Экспериментально установлены значения допустимых снижений температуры стали на выпуске, которые в условиях комбината «Азовсталь» составили от 20 до 40°С, что позволяет снизить расход чугуна на 10-20 кг/т стали. Выполнен анализ механических свойств металла, произведенного с жидкими лигатурами, показавший повышенное качество опытного металла.

**РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.** Впервые разработана и внедрена технология производства конвертерной стали, выплавленной в большегрузных 350-тонных конвертерах, с обработкой комплексными жидкими лигатурами и последующей разливкой на слябовых УНРС.

Применение жидких лигатур позволило улучшить качество стали за счет исключения необходимости «передува» конвертерной плавки и снижения окисленности стали и шлака, а также снизить содержание водорода в результате частичного его удаления при переплаве ферросплавов в дуговых печах. Разработанная технология обеспечивает расширение сортамента конвертерной стали, ограниченного для высокохромистых марок стали, и позволяет производить сталь с повышенным содержанием хрома легированием в сталеразливочном ковше без существенных потерь хрома.

Впервые разработана, освоена и внедрена технология выплавки конвертерной стали со сниженным на 10-20 кг/т стали расходом чугуна и повышенным расходом металлического лома, позволяющая за счет сокращения цикла плавки, снижения угара шихты и ферросплавов повысить производительность конвертеров на 1,5-2,0%, на 2% увеличить выход годного.

Результаты работы реализованы в конвертерном цехе комбината «Азов-сталь», где внедрена технология выплавки жидких лигатур и обработки ими конвертерной стали в 350-тонном сталеразливочном ковше. Экономическая эффективность применения технологических разработок по производству конвертерной стали в большегрузных 350-тонных конвертерах с внепечной обработкой жидкими лигатурами определена снижением затрат на производство непрерывно-литой заготовки в конвертерном цехе комбината «Азов-сталь». Фактический годовой экономический эффект составил 128040 рублей (в ценах 1990 года).

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Материалы диссертации докладывались на VIII Международной н.-т. конференции «Теория и практика кислородно-конвертерных процессов» в городе Днепропетровске, 1992 г., на I, II и III Конгрессах сталеплавателей в городах Москве и Липецке, 1993, 1994, 1995 г., на Всесоюзной конференции «Внепечная обработка металлов» в городе Киеве, 1992 г., на I, II и III региональных конференциях в ПГТУ, 1992, 1993, 1995 гг., на V конференции «Новые конструкционные материалы и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий» в городе Запорожье, 1992 г., на XX и XXI конференциях

молодых специалистов МК «Азовсталь», 1990 и 1991 гг., на технических совещаниях, проводимых на МК «Азовсталь», и на заседаниях кафедры металлургии стали ПГТУ.

Основные результаты работы изложены в 20 публикациях.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы из 106 наименований, 12 приложений и содержит 187 страниц машинописного текста, 56 рисунков и 28 таблиц.

**ЛИЧНЫЙ ВКЛАД ДИССЕРТАНТА В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, КОТОРЫЕ ВЫНОСЯТСЯ НА ЗАЩИТУ.** Автором выполнен анализ гидродинамических и тепловых процессов при внепечной обработке стали комплексными жидкими лигатурами, исследованы особенности процессов рафинирования стали при использовании жидких лигатур, разработана методика расчетов оптимальных состава стали и количества раскислителей и легирующих, присаживаемых в ковш на выпуске плавки и при доводке химического состава на УДМ. Разработанные технологии освоены и внедрены в конвертерном цехе комбината «Азовсталь» с личным участием автора. Автором подтверждено ожидаемое улучшение качества опытной стали и показана возможность получения стали повышенного качества с одновременным снижением затрат на ее производство.

**МЕТОДОЛОГИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Методика проведения исследований включала моделирование разрабатываемых процессов, проведение эксперимента в лабораторных условиях и на промышленном оборудовании - 350-тонных кислородных конвертерах, дуговых печах ДСП-12НЗ, электрошлакоплавильных печах РКЗ-16,5 ФЛ-И1 и ОКБ-1320, установках доводки металла УДМ, вакууматоре УПВС-350 и УНРС.

Сложные расчеты выполнялись с применением ЭВМ по специально разработанным программам. Для определения химических анализов шлаков и металлов использовались современные методики и аналитическое оборудование. Лабораторные эксперименты выполнялись с применением высокотемпературного вибровискозиметра-термоанализатора (ВВТА) методом вибротермографирования, разработанным в Приазовском государственном техническом университете. Для экспрессного определения окисленности стали использовалось промышленное устройство контроля окисленности стали УКОС-1. Температуру замеряли при помощи стандартных платинородий-платиновых термопар методом термо-э.д.с. Качество стали определяли в соответствии с действующими ГОСТами по действующим методикам и на современном оборудовании. Методы определения химического состава,

механических характеристик и изучения макро- и микроструктуры металла прошли сертификацию (в составе сертификации металлопродукции комбината) такими авторитетными квалификационными обществами, как английский и германский Регистры Ллойда, Американское бюро судоходства, Дет Норске Веритас, Тюф-Рейнланд и др.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Легирование и рафинирование стали с применением жидких лигатур

Анализ опубликованных работ по обработке стали жидкими лигатурами показал, что обработку стали этим способом применяли в основном при производстве легированных или низколегированных высококачественных сталей ответственного назначения (таких, как 18X2H4BA, 12X2H4A, 30XГСА, 25XГМФ, 14X2H3MA и др.). Технология заключается в смешении в ковше выплавленных в отдельных агрегатах металла-полупродукта (120-т мартеновская печь), жидкого сплава легирующих элементов (25-тонная дуговая электропечь) и жидкого синтетического шлака СШ (3-фазная дуговая электропечь). При использовании этой технологии наряду с улучшением качества стали имеет место экономия раскислителей и легирующих - Mn, Cr, Si, W, V и др., а себестоимость стали по технологии смешения получается в среднем на 10 руб./т меньше, чем у электростали.

На одном из машиностроительных предприятий России используется способ получения легированной стали, по которому мартеновская сталь обрабатывается с целью повышения качества совмещением процессов легирования, рафинирования и раскисления легирующим расплавом, выплавленным в другом агрегате с одновременным приготовлением в том же агрегате синтетического шлака требуемого состава. Применяется также технология получения качественной стали смешением жидких фаз-металла из мартеновской печи, лигатуры из дуговой печи и рафинировочного шлака из электрошлакоплавильных печей. Отмечается высокое качество полученного по этой технологии металла.

На Челябинском металлургическом заводе сотрудниками ЦНИИЧМ проведены опытные плавки хромоникельмолибденовых сталей, в которых жидкую лигатуру, выплавленную из FeCr, FeMo, Ni, SiMn, чугуна и СШ, сливали из промежуточного ковша в сталеразливочный, в который затем выпускали сталь из 130-тонного конвертера. Сталь впоследствии разливали на 14-тонные листовые слитки. В результате исследований качества металла

показано улучшение микроструктуры стали, снижение загрязненности НВ, увеличение ударной вязкости по сравнению с обычной мартеновской сталью, вместе с тем отмечено возрастание содержания водорода в стали, полученной с использованием жидких лигатур. Повышение содержания водорода в стали показал и вариант обработки конвертерной стали жидкими лигатурами в НПО «Тулачермет», по которому лигатуру из электропечи выпускали в специальный ковш, после чего из конвертера в основной ковш сливали 1-2 т металла, добавляли жидкую лигатуру с СШ и выпускали основной металл. Сталь разливали на вертикальной УНРС в кристаллизатор сечением 280x320 мм. Кислород и азот в металле опытных плавов были сопоставимы с содержанием этих газов в сравнительных плавках, а по уровню содержания НВ вариант применения жидких лигатур также был не лучшим.

На Криворожском металлургическом заводе были проведены опыты по легированию стали 20Г2, 20ГС, 35ГС, 23Г2А и др., выплавленной в 130-тонных конвертерах, в ковше жидкими лигатурами из 6-т индукционной печи. Изучение качества металла показало улучшение всех его качественных характеристик.

Необходимо отметить недостаточность и отрывочность имеющихся сведений о процессе внепечного легирования стали жидкими лигатурами и отсутствие опыта производства стали с применением жидких лигатур, выплавляемой в большегрузных конвертерах емкостью более 300 т, с последующей внепечной обработкой и разливкой на слябовых УНРС.

Технологические особенности производства конвертерной стали на комбинате «Азовсталь» по этой схеме требуют решения ряда задач, таких, как установление основных технологических параметров выплавки стали, связанных с особенностями температурного и шлакового режимов конвертерной плавки в 350-тонных конвертерах и получением высокоокисленного полупродукта, изучение особенностей внепечной обработки и непрерывной разливки стали на слябовых УНРС методом «плавка на плавку».

## 2. Исследование гидродинамики и тепловых процессов производства конвертерной стали с легированием комплексными жидкими лигатурами

Эффективность легирования стали комплексными жидкими лигатурами и СШ зависит от условий перемешивания фаз во время выпуска в сталеразливочный ковш полупродукта из конвертера. С использованием современных представлений о гидродинамических условиях металлургических процессов определены выражения мощности, среднеинтегральной и

удельной объемной мощности перемешивания металла в ковше, позволяющие получить соответствующие расчетные значения для условий промышленного эксперимента. Показано, что расчет средней удельной мощности

перемешивания металла  $\epsilon_{м.ср.}$  при выпуске из конвертера в ковш емкостью 350 т с жидкой лигатурой и СШ можно производить по формуле

$$\epsilon_{м.ср.} = \frac{g}{\tau_k} \left( H_r \cdot \ln \tau_k - \frac{G}{\mu_r \cdot F_r} \right) \cdot \frac{вт}{кг}, \quad (1)$$

включающей геометрические размеры  $H_r$  и  $F_r$ , время выпуска металла из конвертера  $\tau_k$  и массу металла  $G$ . Анализ гидродинамических условий легирования стали жидкой лигатурой позволил сделать вывод о максимальной эффективности этого процесса при введении лигатуры в сталеразливочный ковш в начале выпуска стали из конвертера.

При изучении тепловых особенностей процесса легирования жидкими лигатурами анализировали различие тепловых балансов двух вариантов легирования стали: 1 - жидкими лигатурами и 2 - твердыми кусковыми ферросплавами. При легировании стали жидкими лигатурами исключается необходимость в дополнительном тепле для нагрева кусковых ферросплавов до температуры их плавления, для возможных полиморфных превращений элементов в ферросплавах, для осуществления фазовых переходов и нагрева жидких расплавленных лигатур из этих ферросплавов до температуры металлического расплава в ковше. Это дополнительное тепло  $\Delta Q$  в общем виде можно представить как сумму количества тепла  $Q_{н.т.ф.}$ , необходимого для нагрева твердого ферросплава от исходной температуры  $T_{нач.}$  до температуры плавления ферросплава  $T_{пл.}$ , количества тепла  $Q_{н.ж.ф.}$ , необходимого для нагрева жидкого ферросплава от температуры плавления ферросплава  $T_{пл.}$  до температуры жидкой стали  $T_{ж.с.}$ , и теплоты плавления ферросплава  $L$ :

$$\Delta Q = Q_{н.т.ф.} + Q_{н.ж.ф.} + L. \quad (2)$$

Расчеты были выполнены для стали 09Г2С, выплавляемой в условиях конвертерного цеха комбината «Азовсталь».

Для легирования стали 09Г2С применяют SiMn и FeSi, поэтому

$$Q_{н.т.ф.} = \sum Q_{н.т.ф.}^i = Q_{н.т.ф.}^{SiMn} + Q_{н.т.ф.}^{FeSi}, \quad (3)$$

$$Q_{н.ж.ф.} = M \cdot \int_{T_{нач.}}^{T_{ж.с.}} c_p \cdot dT, \quad (4)$$

где  $M$  - масса ферросплава, кг;

$C_p$  - удельная теплоемкость нагреваемого ферросплава при постоянном давлении, кДж/(кг · К),

$$C_p = a_0 + a_1 \cdot T. \quad (5)$$

После преобразований

$$Q_{н.т.ф.} = M(T_{пл} - T_{нач})(a_0 + a_1 \cdot T_{cp}), \quad (6)$$

$$\text{где } T_{cp} = \frac{T_{пл} + T_{нач}}{2} \quad (7)$$

Для стали 09Г2С эти выражения после ряда допущений и преобразований принимают вид

$$Q_{н.т.ф.} = Q_{н.т.ф.}^{Si(Mn)} + Q_{н.т.ф.}^{Mn} + Q_{н.т.ф.}^{Fe(SiMn)} + Q_{н.т.ф.}^{Si(FeSi)} + Q_{н.т.ф.}^{Fe(FeSi)} \quad (8)$$

Количество тепла  $Q_{н.ж.ф.}$ , необходимого для нагрева ферросплавов в жидком состоянии от  $T_{пл}$  до температуры жидкой стали в конвертере перед выпуском  $T_{ж.с.}$ :

$$Q_{н.ж.ф.} = M \cdot C_{p.ж.} (T_{ж.с.} - T_{пл}), \quad (9)$$

Теплоту плавления ферросплавов  $L$  определяли по уравнению:

$$L = T_{пл.ф.} \cdot \Delta S_{пл}, \quad (10)$$

где  $L$  - теплота плавления вещества в ферросплаве, Дж/моль;

$T_{пл.ф.}$  - температура плавления ферросплава, К;

$\Delta S_{пл}$  - изменение энтропии при плавлении вещества, Дж/(моль·К).

После подстановки всех значений в (2) для 350-т плавки

$$\Delta Q = 12,5 \cdot 10^6 + 15,5 \cdot 10^6 \text{ КДж.}$$

Полученное значение  $\Delta Q$  подтверждает возможность снижения температуры стали перед выпуском из конвертера в ковш при условии последующей выпечной обработки жидкой лигатурой.

### 3. Экспериментальное изучение особенностей получения жидких лигатур и возможности их использования для обработки стали

Такие параметры, как вязкость и температура расплавления, имеют важное значение для выплавки и применения жидких лигатур. Знание температуры начала кристаллизации помогает определить температуру нагрева лигатуры заданного состава при расплавлении ее в дуговой печи, а от вязкости (или жидкотекучести) лигатуры зависят скорость ее растворения и равномерного распределения в объеме стали, сливаемой из агрегата в сталеразливочный ковш.

Вязкостно-плавкостные характеристики лигатур на основе Fe-Si-Mn, Fe-Si-Mn-Cr-V, Fe-Si-Mn-Cr-V-Ni-Cu определяли методом вибротермографирования на разработанном в Проблемной лаборатории ПГТУ под руководст-

вом В. Н. Гладкого высокотемпературном вибровискозиметре-термоанализаторе (ВВТА). Навеску лигатуры массой около 100 г расплавляли в атмосфере аргона в герметичной печи сопротивления с бифилярным графитовым нагревателем. В одной измерительной ячейке применяли вибрационный способ измерения вязкости и дифференциально-термический анализ, основанный на измерениях температуры двумя термopарами  $T_1$  и  $T_2$ . Спай одной из них,  $T_1$  - сравнительной, касался дна тигля, вторую  $T_2$  - измерительную - в алундовом чехле погружали в расплав одновременно с зондом вискозиметра. Измерения вязкости расплава производили в кинетическом режиме при постоянной скорости изменения температуры в печи, поддерживаемой с помощью программной регулирующей системы как при охлаждении, так и при нагреве исследуемого образца. Электрические сигналы через цифровой вольтметр передавались на ПЭВМ типа IBM PC/AT, обрабатывались по специально разработанной программе и выводились на экран дисплея или на принтер в виде таблиц и графиков с изображением программы в координатах  $T_2 - \Delta T$  и политермы вязкости  $\eta$  в координатах  $T_2 - \eta$ .

Результаты лабораторного эксперимента по четырем лигатурам приведены в таблице 1, где показаны измеренные значения вязкости сплавов и их температуры начала кристаллизации.

Таблица 1

Вязкостно-плавкостные свойства лигатур, полученные методом вибротермографии

Лигатура	Вязкости (Па · с) при температурах °С							Температура начала кристаллизации $t_{н.к.}, ^\circ\text{C}$
	1550	1500	1450	1400	1350	1300	1250	
I Fe-Si-Mn	0.010	0.11	0.12	0.14	0.28	0.49	>12	1290
II Fe-Si-Mn	0.011	0.15	>12	-	-	-	-	1465
III Fe-Si-Mn-Cr-V	0.007	0.075	0.17	0.34	>12	-	-	1380
IV Fe-Si-Mn-Cr-V-Ni-Cu	0.075	0.105	0.12	5.2	>12	-	-	1460

Первичные данные эксперимента фиксировали в виде рабочих графиков, один из которых представлен на рис. 1.

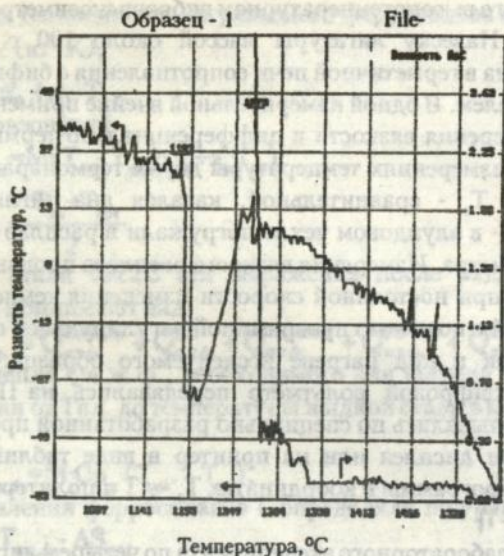


Рис. 1. Результаты вибротермографирования жидкой лигатуры состава Fe-Si-Mn (вариант 1) на ВВТА. Состав шихты: железо, SiMn17, FeSi65

#### 4. Разработка и освоение технологии выплавки комплексных жидких лигатур

Разработку и освоение технологии выплавки жидких лигатур производили в специальном отделении синтетических шлаков и жидких лигатур конвертерного цеха комбината «Азовсталь» в дуговых печах ДСП-12НЗ. Лигатуры выплавляли методом переплава кусковых феррославо в безокислительной атмосфере. В процессе экспериментов отработывали технологические параметры выплавки лигатур требуемого состава, который определялся заданной маркой стали. Например, химический состав лигатуры для стали 09Г2С был следующим (табл.2):

Таблица 2

Химический состав жидкой лигатуры из печи ДСП-12НЗ для стали 09Г2С

Плавка	Состав лигатуры, %			
	C	Mn	Si	P
1	0.75	41.9	19.7	0.46
2	-	51.8	26.6	0.40
3	-	53.5	26.5	0.41

Температура лигатуры перед выпуском из печей ДСП-12НЗ в зависимости от химического состава изменялась от 1450 до 1610°C. Для сталей марок 09Г2С, 17Г1СУ и 13Г1СУ средняя температура жидкой лигатуры в печи ДСП-12НЗ составляла соответственно 1565, 1607, 1586°C.

Время плавления лигатур составило от 3 до 6 часов и определялось наряду с технологическими факторами и условиями производства, связанными с организационными задержками, тогда как продолжительность плавления шихты до готовности жидкой лигатуры изменялась в пределах 2-3 часов.

Параллельно в электрошлакоплавильных печах РКЗ-16,5ФЛ-И1 или ОКБ-1320 выплавляли известково-глиноземистый синтетический шлак состава, %: CaO 47-52, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 32-39, SiO<sub>2</sub> н.б. 5.0, MgO н.б. 12.0, FeO+MnO н.б. 1.5, С н.б. 0.08, TiO<sub>2</sub> н.б. 5.0.

Температура СШ перед выпуском из печи составляла 1650-172°C. СШ из расчета 0,5-1,0 т/т лигатуры выпускали в предварительно разогретый сталеразливочный ковш из расчета 0,5-1,0 т/т лигатуры, который на передаточной тележке отправляли к дуговым печам ДСП-12НЗ для слива в него лигатуры.

#### 5. Разработка и освоение технологического процесса производства конвертерной стали с внепечной обработкой комплексными жидкими лигатурами

При разработке технологии производства конвертерной стали с жидкими лигатурами требовалось учесть особенности выплавки в большегрузных 350-тонных конвертерах высокоокисленного полупродукта, связанные с поведением вредных примесей - S и P, газов, необходимость подготовки металла к разливке на слябовых УНРС с учетом узких пределов температур стали при разливке, необходимость обеспечения повышенных свойств металла путем сужения пределов содержания легирующих элементов и рафинирования стали.

Всего с жидкими лигатурами было выплавлено 70 плавков конвертерной стали марок 09Г2С, 13Г1СУ, 17Г1СУ, 13ГСУ, 10ХСНД, 09Г2СЮЧ, что составило примерно 23000 т жидкой стали.

Технология включала (рис.2) выплавку полупродукта в 350-тонном конвертере, параллельную выплавку жидких лигатур и СШ в дуговых печах емкостью 12 т и электрошлакоплавильных агрегатах емкостью 70 т, рафинирование, раскисление и легирование в ковше емкостью 350 т,

вакуумирование на установке порционного вакуумирования УПВС-350 и/или доводку ее химического состава и температуры на УДМ-1, УДМ-2 или УДМ-3, разливку на криволинейных слябовых МНЛЗ с получением непрерывнолитой заготовки, которую затем прокатывали на стане «3600» толстолистового цеха (ТЛЦ) на лист в толщинах  $\geq 10$  мм или отгружали в качестве товарной заготовки. На 25 опытных плавках стали 09Г2С экспериментально изучали особенности технологии производства конвертерной стали с жидкими лигатурами. Применение для легирования стали жидких лигатур снижает вероятность «передува» металла в конвертере. Так, для 70 плавков по такой технологии процент плавков с охлаждением металла присадкой известняка или доломита в конвертер после продувки составлял 5,7% и был примерно в 2 раза меньше, чем для 71 сравнительной плавки по обычной технологии (9,9%), т.е. металл в конвертере «передували» примерно в 2 раза меньше при использовании жидких лигатур.

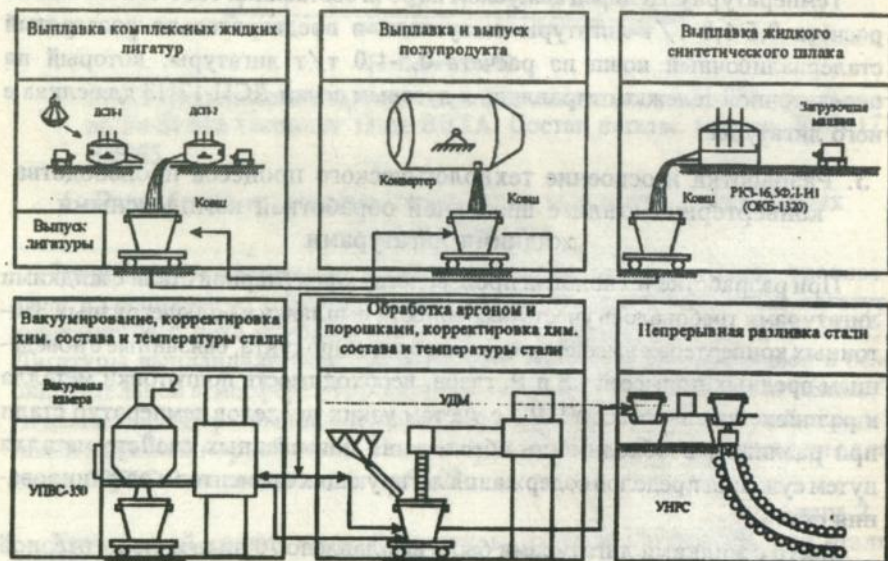


Рис. 2. Схема производства конвертерной стали с легированием и рафинированием комплексными жидкими лигатурами

Изучали поведение С, Мп, Si, Al, P и S в процессе производства стали. Отмечается стабилизация содержания алюминия в готовой стали  $[Al]$  г.с. при

использовании жидких лигатур. Это объясняется меньшей окисленностью стали при обработке жидкими лигатурами, что подтверждается прямыми замерами активности кислорода устройством контроля окисленности стали УКОС-1.

При обработке стали комплексными жидкими лигатурами повышается эффективность рафинирования стали. Так, для стали 09Г2С отмечается снижение содержания серы от 0,015-0,030% до 0,005-0,015%, в то время, как снижение содержания серы на сравнительных плавках весьма незначительно, а на отдельных плавках практически отсутствует. Это подтверждается обобщенными данными по десульфурации стали на рис. 3, где приводятся результаты рафинирования стали по различным технологическим вариантам выплавки стали 09Г2С. Средняя степень десульфурации стали 09Г2С с обработкой жидкими лигатурами составила  $\eta_s^{cp} = 49,2\%$ , на сравнительных плавках эта величина была в 3-4 раза меньше. Подробно исследованы условия гомогенизации металлических расплавов при обработке стали аргоном. Установлено, что применение жидких лигатур позволяет умень-

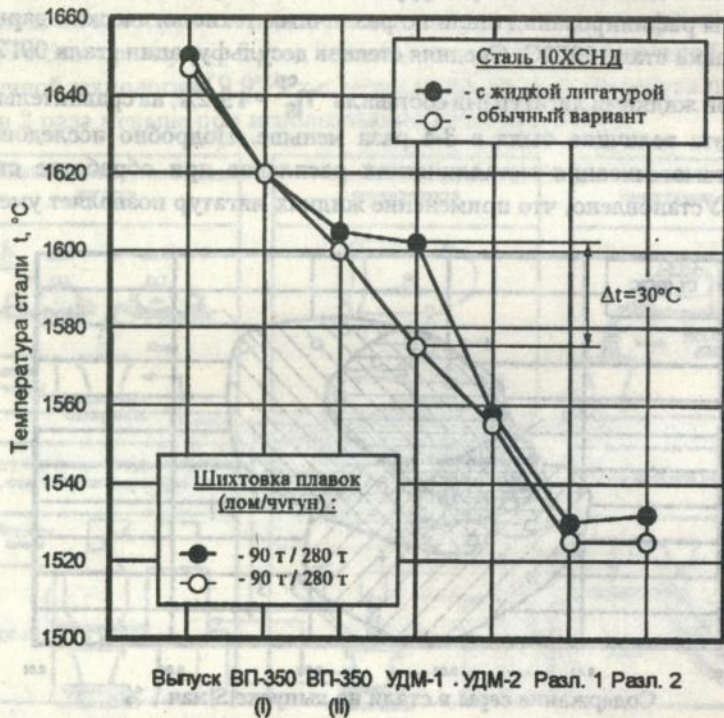


Рис. 3. Десульфурация стали 09Г2С:

1. - ○ - комплексными жидкими лигатурами;
2. - ● - только ТШС (сравнительный вариант);
3. - + - без СШ и ТШС (сравнительный вариант);
4. - □ - только СШ (сравнительный вариант).

шить время обработки стали аргонем  $\tau_{Ar}$  с целью усреднения химического состава стали и даже исключить ее полностью.

Разработана и опробована технология производства стали 10ХСНД с легированием хромосодержащими лигатурами состава, %: Si 25-26, Mn 10-12, Cr 19-21, С 1,5-2,4, P 0,05-0,06, S 0,015-0,017, Fe - остальное. Изменение температуры стали 10 ХСНД по опытному и сравнительному вариантам представлено на Рис.4. Установлена возможность снижения температуры стали на выпуске на 20-40°C при применении жидких лигатур, что эквивалентно снижению расхода чугуна примерно на 10-20 кг/т стали.



Место замера температуры

Рис. 4. Изменение температуры стали 10ХСНД в процессе ее производства в конвертерном цехе МК «Азовсталь»: ● - опытные плавки; ○ - сравнительные плавки

## 6. Исследование качества конвертерной стали, выплавленной с применением жидких лигатур

Химический состав и механические свойства листов стали, выплавленной по опытному варианту с жидкими лигатурами, полностью соответствовали требованиям ГОСТов и техническим условиям. Изучение макроструктуры темплетов поперечного сечения слябов по серным отпечаткам и после травления показало, что осевая химическая неоднородность не превышала 2, а в ряде случаев 2,5 балла. На сравнительных плавках указанные несплошности оцениваются величинами до 3 баллов.

Таблица 3

Механические свойства листов стали 09Г2С по опытному (с жидкими лигатурами) и сравнительному (обычная технология) вариантам

№ пп	Толщина листа h, мм	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	К С У, МДж/м <sup>2</sup>	
						-40°C	После старения
1	10	<u>367.9</u>	<u>470.9</u>	<u>35.0</u>	64.0(н.д.)	1.43	1.28
		348	471	33.0		0.59	0.65
2	34	<u>309.0</u>	<u>470.9</u>	<u>29.0</u>	73.5(26)	1.90	2.15
		378	510	29.0		1.10*)	2.0
3	<u>40</u>	<u>333.5</u>	<u>470.9</u>	<u>34.0</u>	80.0(18)	2.18	2.37
	45	334	500	27.5		0.8*)	н.д.
ГОСТ 19281-89	10	324	470	21	-	0.34	0.29
	32-60	284	451	21	-	0.34	0.29

Примечания: числитель - опытный вариант, знаменатель - сравнительный вариант; \*) - температура испытаний - 50°С; в скобках - относительное сужение в Z-направлении; н.д. - нет данных.

В табл. 3 приведены данные механических свойств листа в различных толщинах, из которых следует, что при сопоставимых значениях прочностных характеристик - предела текучести  $\sigma_T$  и временного сопротивления  $\sigma_B$ , ударная вязкость при отрицательных температурах (-40 ÷ -50°С) на опытных плавках в 2-2,5 раза выше, чем на сравнительных, и в 4-6 раз выше, чем требуемая по ГОСТу 19281-89. Такой запас ударной вязкости свидетельствует о большой хладостойкости этого металла. Это подтверждается и тем, что значения ударной вязкости после старения (+20°С) на опытном металле

для толщин листа от 10 до 40 мм изменяются от 1,28 до 2,37 МДж/м<sup>2</sup>. Эти значения КСУ <sup>+20С</sup> в 4-8 раз выше требуемого ГОСТом 19281-89.

Исследовали также макроструктуру и микроструктуру листов опытных плавов, которые оказались не хуже соответствующих структур металла сравнительных плавов.

Оценка неметаллических включений показала наличие пластичных силикатов от 1,0 до 4,0 балла в опытном металле по сравнению с > 5,0 балла в сравнительном металле обычной выплавки и хрупко разрушенных силикатов от 2,5 до > 5,0 балла (в сравнительном металле - > 5,0 балла). Металл опытных плавов несколько чище по содержанию неметаллических включений.

Таким образом, по макроструктуре, химической однородности и механическим свойствам качество стали, обработанной комплексными жидкими лигатурами, выше, чем качество сравнительной стали, выплавленной по обычной технологии.

## 7. Технико-экономическая эффективность выплавки конвертерной стали с обработкой в ковше жидкими лигатурами

Технология обработки стали комплексными жидкими лигатурами обеспечивает повышение производительности конвертера за счет сокращения цикла плавки на 1-3 минуты и увеличения выхода годного на 2%, снижение расхода чугуна в металлошпихте на 0,010-0,020 т/т стали и увеличение расхода металлического лома на 0,010-0,020 т/т, снижение расхода легирующих - для стали 09Г2С - ферросилиция - на 7-10%, ферромарганца - на 3,5-6%, снижение расхода синтетического шлака на 2-2,5 кг/т стали и аргона на 0,01-0,02 м<sup>3</sup>/т стали, повышение качества стали и улучшение ее свойств. Годовой экономический эффект от применения этой технологии в ККЦ МК «Азовсталь» составил 128049 руб. (в ценах 1990 года).

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате изучения особенностей гидродинамики процессов, протекающих при раскислении и легировании конвертерной стали комплексными лигатурами, определены значения мощности, среднесинтегральной и удельной объемной мощности перемешивания металла в 350-т сталеразливочном ковше с жидкой лигатурой падающей струей металла при выпуске из конвертера в зависимости от технологических параметров и геометрических

размеров. Установлена максимальная эффективность обработки стали жидкими лигатурами при введении их в ковш в начале выпуска полупродукта из конвертера.

2. На основании изучения закономерностей тепловых процессов при внепечной обработке стали жидкими лигатурами показано, что в условиях МК «Азовсталь» на выплавку стали с жидкими лигатурами требуется на  $12,5 \div 15,5 \cdot 10^6$  КДж тепла на плавку меньше, чем при выплавке по обычной технологии.

3. В лабораторных условиях методом вибротермографирования с помощью высокотемпературного вибрационного вискозиметра-термоанализатора исследованы плавкостные и вязкостные свойства легирующих расплавов Fe-Si-Mn, Fe-Si-Mn-Cr-V и Fe-Si-Mn-Cr-V-Ni-Cu. Установлены значения температуры начала кристаллизации этих расплавов, которые изменяются от  $1290^\circ$  С для менее легированного расплава до  $1465^\circ$  С для более легированного. Установлены также значения вязкости для указанных лигатур. На основании полученных данных определены рациональные температурные параметры выплавки комплексных лигатур в промышленных условиях.

4. Разработана и освоена технология выплавки комплексных жидких лигатур в дуговых печах ДСП-12НЗ отделения синтетических шлаков и жидких лигатур конвертерного цеха МК «Азовсталь».

5. Впервые разработана и освоена технология выплавки конвертерной стали в 350-тонных конвертерах с легированием в ковше комплексными жидкими лигатурами, последующей обработкой аргоном на УДМ (и/или вакууматоре УПВС-350) и разливкой на слябовых УНРС.

6. Установлено повышение усвоения Mn и Si при обработке стали 09Г2С жидкими лигатурами соответственно на 3,6 и 7,0% в сравнении с легированием стали твердыми кусковыми ферросплавами.

7. Применение внепечной обработки стали комплексными жидкими лигатурами позволяет получить дополнительное рафинирование стали, обеспечивая для стали 09Г2С среднюю степень десульфурации  $\eta_s^{sp} = 49,2\%$ , что в 2-3 раза выше, чем для стали, выплавленной по обычной технологии.

8. Разработана технология выплавки хромосодержащей стали 10ХСНД с

легированием жидкими лигатурами, позволяющая за счет снижения тепловых потерь на расплавление твердых ферросплавов уменьшить расход чугуна на 10-20 кг/т стали.

9. Разработана методика расчетов с применением ЭВМ количества раскислителей и легирующих, присаживаемых в ковш на выпуске плавки и при корректировке химического состава на УДМ. Использование разработанной методики позволит снизить расход ферросплавов и повысить вероятность попадания значений содержаний элементов в суженные пределы химического состава.

10. При исследовании качества металла установлено, что ударная вязкость КСУ при отрицательных температурах ( $-40^{\circ}\text{C}$  +  $-60^{\circ}\text{C}$ ) на опытных плавках с обработкой жидкими лигатурами в 2-2,5 раза выше, чем на сравнительных, и в 4-6 раз выше, чем требуемая по ГОСТу.

11. Установлена повышенная хладостойкость стали 09Г2С, обработанной жидкими лигатурами, в толщинах от 10 до 40 мм, т. к. получены высокие значения ударной вязкости после старения ( $+20^{\circ}\text{C}$ ) - от 1,28 до 2,37 МДж/м<sup>2</sup>, что в 4-8 раз выше требуемой ГОСТом 19281-89 (0,29 МДж/м<sup>2</sup>).

12. Осевая и химическая неоднородность, определяемая по серным отпечаткам поперечных темплетов заготовки, а также после их травления, не превышала 2, а в ряде случаев 2,5 балла. На темплетях сравнительных плавков эти характеристики оцениваются величинами до 3 баллов.

13. Техничко-экономический анализ выплавки стали в 350-тонных конвертерах с обработкой комплексными жидкими лигатурами и разливкой на слябовых УНРС криволинейного типа показал, что этот вариант технологии позволяет с меньшими затратами решить народнохозяйственную задачу получения стали повышенного качества за счет повышения производительности конвертеров, снижения расхода передельного чугуна в металлошлахте конвертерной плавки, снижения расхода легирующих и раскислителей, снижения расхода жидкого известково-глиноземистого СШ, уменьшения расхода аргона при обработке стали на УДМ, повышения стойкости футеровки конвертеров, снижения содержания вредных примесей - серы и фосфора в стали, снижения окисленности стали, повышения качества стали, улучшения ее служебных свойств.

Реальный годовой экономический эффект от внедрения технологии производства конвертерной стали с обработкой комплексными жидкими лигатурами составил 128049 рублей (в ценах 1990 года).

Технология может быть рекомендована для использования при проектировании новых сталеплавильных цехов, предназначенных для производства сталей массового сортамента и ответственного назначения повышенного качества.

Основное содержание диссертации изложено

в следующих публикациях:

1. Семенченко П.М. Техничко-экономическая оценка выплавки конвертерной стали в большегрузных конвертерах с применением жидких лигатур. // Вестник Приазовского гостехуниверситета. - Мариуполь, 1995. - N 1. - с. 10-13.

2. Семенченко П.М., Мельник С.Г., Поживанов М.А. Выплавка рафинирующих хромсодержащих лигатур в отделении синтетических шлаков и жидких лигатур конвертерного цеха комбината «Азовсталь». // Вестник Приазовского гостехуниверситета. - Мариуполь, 1995. - N 1. - с. 5-7.

3. Повышение качества конвертерной стали 09Г2С путем рафинирования в ковше жидкой лигатурой. / Мельник С.Г., Чепель С.Н., Брызгунов К.А., Иванов Е.А., Семенченко П.М. // Сталь, 1993. - N 8. - с. 24-25.

4. Внепечное легирование конвертерной стали жидкими лигатурами. / Семенченко П.М., Мельник С.Г., Поживанов М.А. и др. // В кн.: «Тезисы докладов III региональной н.-т. конференции». Т. I. Металлургия. ПГТУ. - Мариуполь, 1995. - с. 12-13.

5. Снижение расхода чугуна конвертерной плавки при легировании стали жидкими лигатурами. / Семенченко П.М., Мельник С.Г., Поживанов М.А. и др. // В кн.: «Тезисы докладов III региональной н.-т. конференции». Т. I. Металлургия. ПГТУ. - Мариуполь, 1995. - с. 17.

6. А.с. N 1812218. СССР. Смесь для рафинирования стали в ковше. / Семенченко П.М. и др. - Оpubл. в Б.И., 1993, N 16.

7. Комплексная внепечная обработка стали, выплавленной в большегрузных конвертерах. /Мельник С.Г., Носоченко О.В., Брызгунов К.А., Караваев Н.М., Иванов Е.А., Семенченко П.М. // В кн.: «Труды I Конгресса сталеплавыльщиков». Ассоциация сталеплавыльщиков. АО «Черметинформация». - М., 1993. - с. 198-200.

8. А.с. N 1803453. СССР. Лигатура для стали. /Семенченко П.М. и др. - Оpubл. в Б.И., 1993, N 11.

9. Десульфурация металла в ковше активными шлаковыми смесями. /Поживанов М.А., Семенченко П.М., Казаков С.В. и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1991. - N 4 (162). - с. 35-38.

10. Производство конвертерной стали с применением жидких лигатур различных составов. /Мельник С.Г., Носоченко О.В., Иванов Е.А., Семенченко П.М. и др. // В кн.: «Тезисы докладов региональной н.-т. конференции». Т.1. Металлургия. ПГТУ. - Мариуполь, 1992. - с. 19.

11. Восстановительные процессы в печах при производстве лигатур и шлаков заданного состава. /Мельник С.Г., Харлашин П.С., Носоченко О.В., Караваев Н.М., Семенченко П.М. и др. // В кн.: «Тезисы докладов региональной н.-т. конференции». Т.1. Металлургия. ПГТУ. - Мариуполь, 1992. - с. 19.

12. Оптимизация технологии раскисления металла алюминием. /Ганюшенко В.И., Носоченко О.В., Лакунцов А.В., Семенченко П.М. и др. // В кн.: «Труды II Конгресса сталеплавыльщиков». Ассоциация сталеплавыльщиков. АО «Черметинформация». - М., 1994. - с. 257-258.

13. Лонский А.М., Семенченко П.М., Валяев Г.В. К вопросу расчета серопоглотительной способности шлаковых систем. // В кн.: «Тезисы докладов XXI н.-т. конференции молодых специалистов». (МК «Азов-сталь»). - Мариуполь, 1991. - с. 12-13.

14. Повышение эксплуатационных свойств конструкционных сталей путем рафинирования и модифицирования в сталеразливочном ковше. /Мельник С.Г., Брызгунов К.А., Харлашин П.С., Семенченко П.М. и др. / В кн.: «Тезисы докладов V н.-т. конференции «Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и

долговечности изделий». - Запорожье, 1992. - с. 193-194.

15. Комплексное рафинирование конвертерной стали твердыми кусковыми и порошкообразными материалами в ковше. / Караваев Н.М., Иванов Е.А., Поживанов М.А. и др. // БНТИ «Черная металлургия», 1990. - Вып. 9 (1109). - с. 68-69.

16. А.с. N 1766967. СССР. Способ внепечной обработки низколегированной стали. / Семенченко П.М. и др. - Оpubл. в Б.И., 1992, N 37.

17. Способ производства низколегированной стали. / Семенченко П.М. и др. // Положительное решение от 29.05.1991 г. на выдачу авторского свидетельства на изобретение по заявке N 4781834/02.

18. Способ рафинирования стали в ковше. / Семенченко П.М. и др. // Положительное решение от 25.11.1991 г. на выдачу авторского свидетельства на изобретение по заявке N 4764855/02-145082.

19. Порошковая смесь для рафинирования стали. / Семенченко П.М. и др. // Положительное решение от 23.10.1992 г. на выдачу патента по заявке N 5055965/02(035544).

20. Способ получения полуспокойной стали. / Семенченко П.М. и др. // Положительное решение на выдачу патента по заявке N 5030602/02.

## АННОТАЦИЯ

Семенченко П.М. «Разработка и освоение технологии производства конвертерной стали улучшенного качества с применением внепечной обработки комплексными жидкими лигатурами». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных металлов». Приазовский государственный технический университет, металлургический комбинат «Азовсталь», Мариуполь, 1995.

Диссертация содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса производства стали, выплавленной в большегрузных 350-тонных конвертерах с применением внепечной обработки комплексными рафинирующими жидкими лигатурами. Изучены гидродинамические условия легирования стали жидкими лигатурами в ковше, а также изменение теплового баланса стали в этих условиях. Установлено, что разработанная технология может применяться для производства конвертерной стали повышенного качества со снижением расхода передельного чугуна, ферросплавов и других материалов. Разработана, освоена в промышленных условиях и внедрена технология внепечной обработки стали комплексными жидкими лигатурами.

## ANNOTATION

Сemenchenko P. M. The development and mastery of the technology of converter steel production having an ameliorated quality using the out-of-furnace processing application and complex liquid alloys.

The dissertation on the scientific degree competition of the technical sciences on the candidate of technical sciences on the speciality 05.16.02 - «The metallurgy of ferrous metals». Priazovsky state technical University, Metallurgical works «Azovstal», Mariupol, 1995.

The dissertation offers the results of the theoretical and comprehensive research on the steel production process employing a 350 ton converter in the out-of-furnace application refined with liquid alloys.

The change that occurs to the thermal balance under the thermodynamic conditions of the physical - chemical and hydrodynamic operation combined with liquid ligatures in the ladle is presented. This developed technology can be used for the production of high - quality converter steel with the lowering of the maximum maintenance of cast iron, ferroalloys, and other materials. The technology for the processing of out-of-furnace steel using complex liquid ligatures is developed, mastered in industrial conditions, and placed into production.

Ключевые слова: конвертер, сталь, дуговая электропечь, жидкая лигатура, внепечная обработка, качество стали.

111103

AB 34.251