05.16.02
М636

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Мирковский Лев Иосифович

УДК 669.18

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ ТВЕРДЫМИ ШЛАКОВЫМИ СМЕСЯМИ: ГИДРОДИНАМИКА, МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИЯ РАФИНИРОВАНИЯ

Специальность 05.16.02 – "Металлургия черных металлов"

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Челябинск 1990

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола и в Челябинском научно-исследовательском институте металлургии.

Научный руководитель – лауреат премии Совета Министров СССР и Государственной премии УССР, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Д.Я.Поволоцкий

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор А.Я.Стомахин,

кандидат технических наук Ю.Н.Шелгаев

Ведущее предприятие – Волгоградский металлургический завод "Красный Октябрь"

Защита диссертации состоится "28" ноября 1990г. на заседании специализированного совета Д 053.13.04 в 14.00 в Челябинском политехническом институте по адресу: 454044, г.Челябинск, проспект им.В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "24" октября 1990г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного совета,
кандидат технических наук,
доцент О.К.Токовой

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время внепечная обработка стали получила широкое распространение. В частности, все большее применение на предприятиях отрасли получает технология наведения в ковше шлака из твердых шлакообразующих материалов и последующей обработки металла в ковше этим покровным шлаком. Одним из основных условий эффективного внепечного рафинирования металла шлаком является хороший контакт его с металлом, обеспечиваемый перемешиванием. Перемешивание жидкой стали в ковше имеет важное значение для выравнивания температуры, химического состава металла, удаления неметаллических включений. Существенное значение имеет перемешивание расплава в ковше при осуществлении внепечной десульфурации металла, тем более применительно к подшипниковой стали, весьма специфической по предъявляемым к ней требованиям. Поэтому изучение гидродинамики и массообменных процессов является актуальной задачей при внепечном рафинировании металла.

Цели работы. I. Оценка эффективности перемешивания расплава в ковше при продувке инертным газом с помощью различных продувочных устройств и выбор наиболее эффективного.

2. Оценка вклада в перемешивание расплава в ковше струи металла во время выпуска и продувки инертным газом. Разработка, на основании результатов оценки, режима продувки металла в ковше во время выпуска и после его окончания.

3. Изучение шлакового режима плавки в печи, в процессе выпуска стали и наведения шлака в ковше из твердых шлакообразующих материалов при перемешивании расплава инертным газом. Исследование поведения кислорода, серы, фосфора в металле по ходу плавки в печи и аргоно-твердошлакового рафинирования (АТШР) в ковше. Изучение факторов, определяющих эффективность АТШР и способов управления этим процессом.

4. Сравнение показателей качества подшипникового металла, выплавленного по технологии с обработкой жидким синтетическим или печным основным шлаком и с использованием АТШР.

Челябинский политехнический институт НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

5. Разработка, опробование и внедрение технологии производства стали в крупнотоннажной ДСП (в отсутствие внепечного вакуумирования), обеспечивающей стабильность качественных показателей подшипникового металла.

Научная новизна. На основе исследования гидродинамики и массообменных процессов в работе впервые проведено сравнение эффективности перемешивания расплава в ковше при продувке через различные продувочные устройства (пористую пробку, погружаемую огнеупорную фурму и металлическую трубку, установленную в шиберном затворе ковша). Показано, что наибольшая эффективность продувки инертным газом достигается при использовании трубки, установленной в шиберном затворе ковша.

Установлено соотношение удельной мощности перемешивания струей металла на выпуске при различных скоростях выпуска с удельной мощностью перемешивания при продувке аргоном.

Практическая ценность работы состоит в том, что разработаны научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных параметров режима продувки расплава инертным газом во время выпуска плавки в ковш и после окончания выпуска. С учетом изученных гидродинамических закономерностей разработана технология выплавки и внепечной обработки подшипниковой стали твердыми шлакообразующими материалами и аргоном, обеспечивая требуемое качество подшипникового металла без использования жидкого синтетического шлака. Эта технология обеспечивает требования ГОСТ и ТУ по содержанию серы при выплавке нераскисленной подшипниковой стали, что делает ее пригодной для выплавки полупродукта для последующего вакуумирования.

Реализация работы. Технология выплавки и внепечной обработки подшипниковой стали твердыми шлакообразующими материалаи и аргоном внедрена на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК), электрометаллургическом заводе "Днепроспецсталь" (ДСС) (г.Запорожье) и Златоустовском металлургическом заводе (ЗМЗ). Экономический эффект от внедрения новой технологии на ЧМК, ДСС и ЗМЗ составил 800 тысяч рублей (доля автора 90 тыс.рублей).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на:

I. Шестой Всесоюзной научной конференции по современным

проблемам электрометаллургии стали, Челябинск, 1987г.

2. Отраслевой молодежной научно-технической конференции "Научно-технический прогресс в производстве ферросплавов и электростали", Челябинск, 1988г.

3. Научно-техническом семинаре "Новые методы и оборудование для внепечной обработки стали", Челябинск, 1988г.

4. Третьей республиканской научно-технической конференции "Техническое перевооружение и внедрение новых ресурсосберегающих технологий в электросталеплавильном производстве", Днепропетровск, 1989г.

5. XXXXII научно-технической конференции Челябинского политехнического института им.Ленинского комсомола, Челябинск, 1989г.

6. Всесоюзной научно-технической конференции "Обобщение опыта эксплуатации высокомощных дуговых сталеплавильных печей", Челябинск, 1989г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных трудов.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 157 наименований, 15 приложений и содержит 95 страниц машинописного текста, 59 рисунков и 40 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Исследование процесса перемешивания металла в ковше аргоном

1.1. Моделирование перемешивания металла в ковше при продувке инертным газом

Одним из основных условий эффективного внепечного рафинирования металла шлаком является хороший контакт его с металлом, обеспечиваемый перемешиванием. В промышленных условиях перемешивание обычно осуществляется продувкой инертным газом через пористую огнеупорную пробку в днище ковша или через погружаемую отне-

упорную фурму ("ложный стопор"). На ряде предприятий используют продувку аргоном через металлическую трубку, установленную в шиберном затворе ковша. Для выбора наиболее эффективного способа перемешивания в ковше провели сравнительное холодное моделирование.

Эксперименты проводили на установке с моделью 100-т ковша, изготовленного из прозрачного оргстекла в масштабе 1:10. В опытах использовали методику pH-метрии. В качестве жидкости, моделирующей сталь, использовали воду с температурой 20 $\pm$0,5°С. Индикатор (соляную кислоту) вводили через воронку на поверхность барботируемого "расплава" в постоянное во всех опытах место. Количество вводимого индикатора было выбрано из расчета снижения pH водяной ванны с 7,2 до 4,5 единиц и составляло во всех опытах 16 см^3. Измерительные электроды устанавливали у днища ковша. Регистрацию осуществляли pH-метром марки pH-340, работающим с самописцем КСП-4. Время полного перемешивания расплава определяли по кривым изменения pH на диаграмме от времени введения индикатора до установившегося значения pH в пределах 95-98%.

Согласно теории приближенного моделирования гидродинамики жидкой ванны, параметры продувки определяли условиями геометрического подобия, а также постоянства безразмерного импульса струи ($\mathcal{J}$) и критерия Вебера (We):

$$\mathcal{J} = i/\rho g \ell^3 = idem \quad , \qquad (1)$$

$$We = \sigma/\rho g \ell^2 = idem \quad , \qquad (2)$$

где i - импульс струи, н ; ρ - плотность жидкости, кг/м^3, g - ускорение силы тяжести, 9,81 м/с^2; ℓ - характерный размер, м; σ - поверхностное натяжение жидкости, Н/м.

Для холодного моделирования продувки аргоном через погружаемую фурму использовали металлическую трубку внутренним диаметром 3,0 и 1,2 мм, для продувки снизу через трубку в шиберном затворе - трубку внутренним диаметром 1,2 мм. Для моделирования продувки через пористую пробку в днище ковша применили модель пробки диаметром 6 мм, толщиной 20 мм из плотного войлока с эффективной пористостью 9%, что соответствовало подобию скоростей истечения из реальной пористой пробки ШФ2. В качестве барботирующего газа использовали сжатый воздух, подаваемый в количествах, воспроизводящих реальную гидродинамическую обстановку в ковше - от $3\cdot10^{-2}$ до $9\cdot10^{-3}$ м^3/мин.

Сравнение эффективности перемешивания при различных вариантах продувки в одинаковом интервале расхода воздуха показывает, что наименьшее значение времени полного перемешивания жидкости в ковше обеспечивается при продувке трубкой снизу через шиберный затвор (рис.I), в среднем в I,6–2,0 раза меньше, чем при продувке через пористую пробку и в 2,0–6,0 раз ниже, чем при продувке погружаемой фурмой, опущенной на реальную глубину погружения, равную I/2 глубины ковша.

Для объяснения результатов различия времени выравнивания концентрации в ванне при одинаковых расходах барботирующего газа рассмотрены диссипативные свойства системы жидкость – струя – –всплывающий пузырь. Анализ уравнений массопереноса показывает, что время выравнивания концентрации примеси в жидкости (τ) пропорционально суммарной удельной мощности диссипации энергии ($\dot{\mathcal{E}}$):

$$\tau = A \cdot \dot{\mathcal{E}}^{-B} , \qquad (3)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от параметров процесса перемешивания, размеров ковша, свойств жидкости и способа определения времени перемешивания.

Удельная мощность диссипации энергии в рассматриваемых установившихся гидродинамических системах складывается из удельной мощности ($\dot{\mathcal{E}}_в$) всплывающих газовых пузырьков и мощности кинетической энергии струи ($\dot{\mathcal{E}}_к$), т.е.

$$\dot{\mathcal{E}} = \dot{\mathcal{E}}_в + \dot{\mathcal{E}}_к \qquad (4)$$

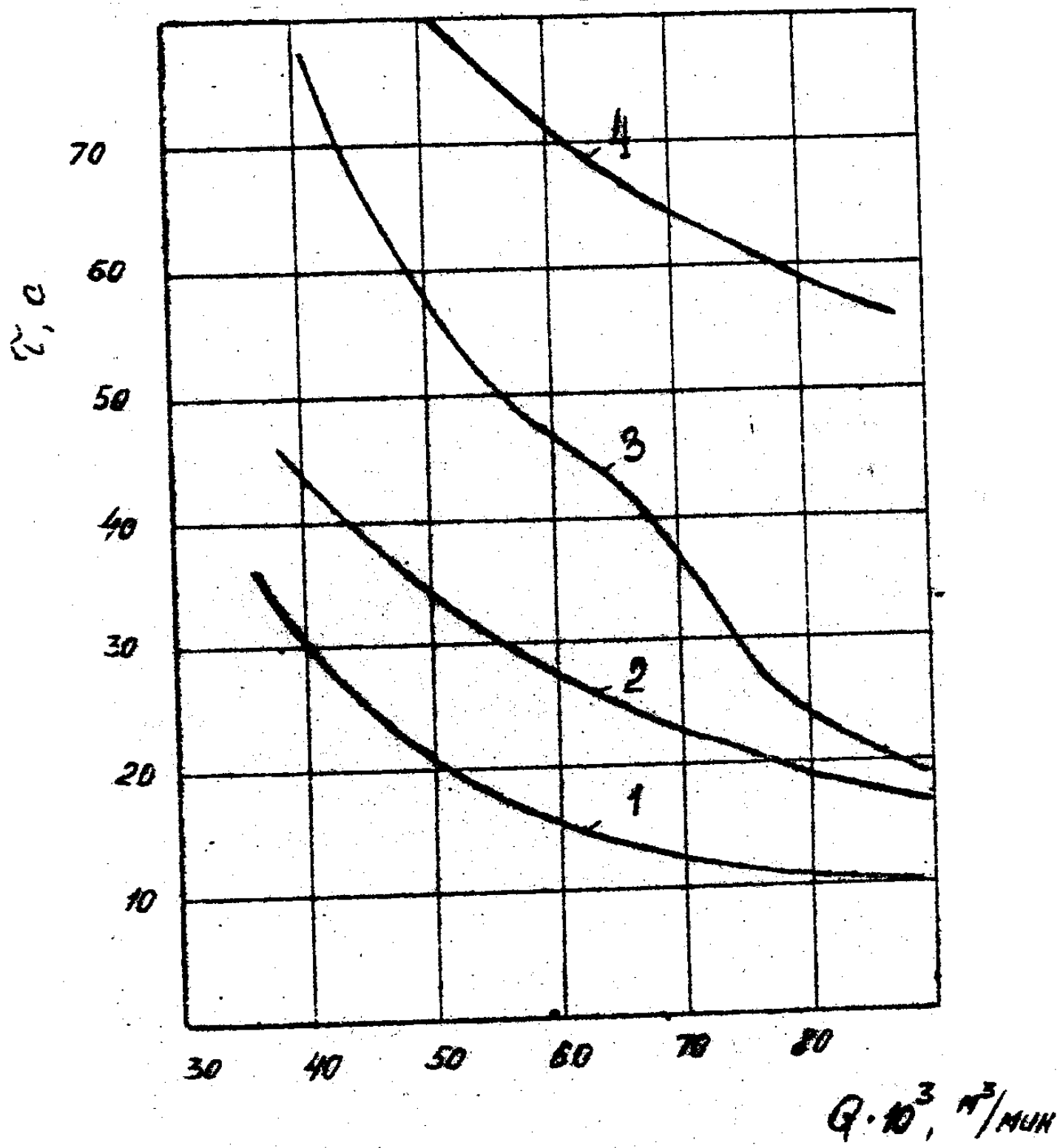
При изотермическом процессе, характерном для холодного моделирования, можно использовать следующие соотношения:

$$\dot{\mathcal{E}}_в = 854 \frac{QT}{W} \lg\left(1 + \frac{\rho g h}{P_a}\right) , \qquad (5)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_к = \frac{1}{2} \frac{\rho_г Q^3}{WF^2} , \qquad (6)$$

где Q – расход газа, м^3/с; T – температура расплава, K; W – масса расплава, т; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, 9,8I м/с^2; h – высота ванны (участка всплывания пузырей), м; P_a – атмосферное давление над ванной, Па; F – площадь сопла, м^2; $\rho_г$ – плотность газа, кг/м^3.

Влияние расхода барботирующего газа (Q) на длительность (τ) полного перемешивания при продувке:



I – трубкой через шибер ;

2 – пористую пробку ; 3 и 4 – ложный стопор внутренним диаметром I,2 (3) и 3 мм (4)

Рис. I

Обработка полученных результатов в согласии с экспериментальными данными показала, что наиболее эффективна продувка трубкой снизу через шиберный затвор, т.к.при этом достигается наибольшее значение удельной мощности диссипации энергии (до 110 Вт/т) и соответственно наименьшее время перемешивания (до 71с), тогда как продувка через пористую пробку не может обеспечить удельную мощность перемешивания выше 40 Вт/т. Это связано с тем, что при продувке трубкой снизу через шиберный затвор во всем интервале расходов газа весьма существен вклад кинетической энергии струи, который составляет 40-75% всей удельной мощности диссипации,тогда как при продувке через пробку эта величина составляет 11-40%. Существенно более низкая доля кинетической энергии струи 3-10% имеет место в случае продувки погружаемой фурмой. Кроме того,при направлении струи от днища вверх образуется более благоприятная для перемешивания гидродинамическая обстановка в ковше, т.к.при этом больше высота всплывающих пузырей газа, а, следовательно, и больше мощность диссипации за счет всплывания газовых пузырьков ($\dot{\varepsilon}_в$). Направление струи истекающего газа снизу вверх более эффективно для перемешивания, чем направление сверху вниз, поскольку в последнем случае часть кинетической энергии затрачивается на торможение струи.

I.2. Математическое моделирование процесса перемешивания металла в ковше по ходу выпуска плавки

С целью изучения закономерностей процесса перемешивания и сравнительной оценки эффективности перемешивания металла продувкой аргоном и струей сливаемого металла провели математическое моделирование процесса перемешивания металла в ковше.

При постановке задачи приняты следующие допущения: ковш цилиндрической формы, близкой к реальному 100-тонному ковшу;, массовая скорость по ходу выпуска металла в ковш постоянная; сливной желоб по ходу выпуска не перемещается относительно ковша. Последнее допущение полностью справедливо для печей с донным или эркерным выпуском и,по-видимому, приемлемо для обычных ДСП, когда выпуск плавки осуществляется по желобу. Ковш в данном случае при помощи перемещения крана всегда устанавливается под желобом на определенном расстоянии.

Исходными данными для расчета являлись:

$\mathcal{D}$ – внутренний диаметр ковша, м (постоянная величина = 2,5 м);

h_o – начальная высота падения струи металла, м (постоянная величина = 4,7 м);

h_i – высота падения струи в i – й момент времени, м;

M – полная масса металла в ковше, кг (постоянная величина = I00000 кг);

τ – время полного выпуска металла, с (I80–420с);

$\tau_o = 0$ – момент начала выпуска;

$\Delta\tau$ – интервал времени, с ($\Delta\tau$ = 60с);

G – интенсивность продувки, $нм^3/с$ (20-I20 $нм^3/ч$, $0{,}56 \cdot I0^{-2} - 2{,}33 \cdot I0^{-2}$ $нм^3/с$);

d_c – диаметр сопла (0,0I2 м).

В результате расчетов определяли мощность и время перемешивания жидкой стали по ходу выпуска плавки в ковш в зависимости от скорости выпуска (времени выпуска), а также интенсивности продувки аргоном через трубку снизу. Алгоритм реализован в виде программы для ЭВМ. Модель предусматривает учет вклада в мощность перемешивания кинетической составляющей струи аргона с учетом явления "пробоя" критической толщины металла в ковше. В этом случае принято допущение, что большая часть кинетической энергии струи теряется с покидающей систему струей аргона и удельная кинетическая энергия струи $\dot{\mathcal{E}}_к = 0$.

Максимальное значение удельная мощность перемешивания струей выпускаемого металла $\dot{\mathcal{E}}_i^м$ имеет в начале выпуска (рис.2). В дальнейшем по ходу наполнения ковша значение $\dot{\mathcal{E}}_i^м$ резко убывает. Наибольшая удельная мощность перемешивания продувкой аргоном соответствует наибольшей интенсивности продувки. Полученные результаты показывают, что наиболее эффективна присадка материалов в ковш в начале выпуска, когда наблюдается максимальная удельная мощность перемешивания струей металла и имеется достаточный запас времени для перемешивания расплава с присаживаемыми материалами. Видно, что наиболее эффективна в этом смысле присадка материалов в ковш в момент не позже наполнения 20% (I/5) ковша. Сокращение продолжительности выпуска, как и увеличение интенсивности продувки металла в ковше, вызывает повышение удельной мощности перемешивания.

Изменение удельной мощности перемешивания струей металла ($\dot{\varepsilon}_i^{м}$) и продувкой аргоном через шибер ($\dot{\varepsilon}_i^{Ar}$) по ходу выпуска плавки: цифры у кривых $\dot{\varepsilon}_i^{м}$ — продолжительность выпуска, мин; у кривых $\dot{\varepsilon}_i^{Ar}$ – интенсивность продувки, $м^3/ч$

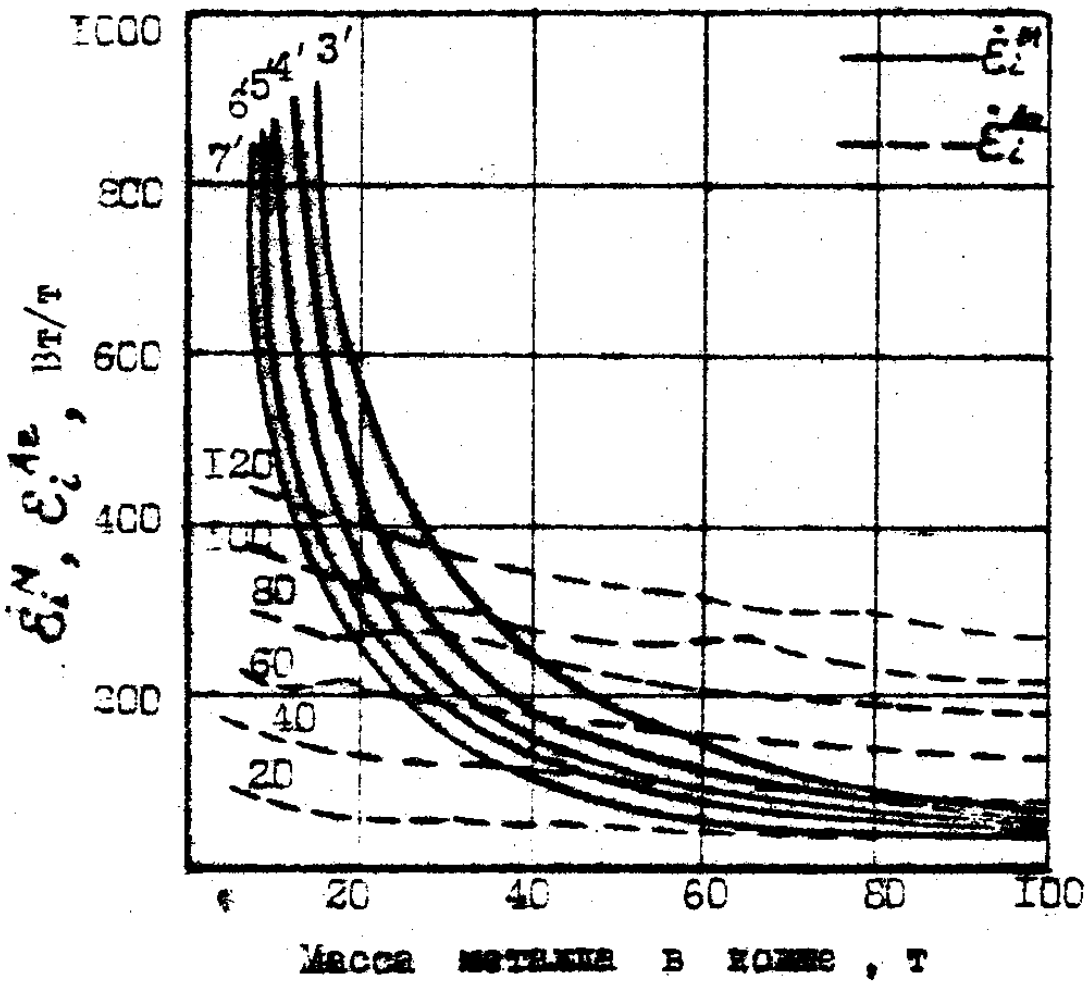


Рис. 2

Продолжительность выпуска плавки в ковш (скорость выпуска) оказывает заметное влияние на время полного перемешивания металла в ковше. Так при 20% наполнении ковша время полного перемешивания металла уменьшается с 89 до 63с при сокращении длительности выпуска с 7 до 3 мин., что объясняется повышением мощности перемешивания жидкой ванны.

Для выбора оптимального времени выпуска учитывали соотношение времени полного перемешивания жидкого металла в ковше с текущим временем выпуска $t_i^м = f(\tau_i)$. Каждому конкретному текущему времени выпуска τ_i соответствует определенное время $t_i^м$, необходимое для полного перемешивания последней порции металла. Поэтому при любой скорости выпуска последние порции сливаемого металла никогда не будут перемешаны (при отсутствии других способов перемешивания). Следовательно, для каждой конкретной скорости выпуска существует совершенно определенный момент времени выпуска τ^*, после которого последующие порции сливаемого металла не будут полностью перемешаны со всей массой плавки. Этот "критический" момент времени определяется условием, что среднее время перемешивания $\bar{t}_i^м$ в интервале от "критического" момента до момента конца выпуска $(\tau^* \div \tau)$, должно быть не менее продолжительности данного отрезка времени

$$\bar{t}^м \geq \tau - \tau^* \qquad (7)$$

или

$$\tau^* \geq \tau - \bar{t}^м \qquad (8)$$

Среднее время полного перемешивания в интервале от $\tau^* \div \tau$ определяется выражением

$$\bar{t}^м = \frac{\int_{\tau^*}^{\tau} t_i^м(\tau_i)\, d\tau}{\tau - \tau^*} \qquad (9)$$

Для практических рекомендаций удобно воспользоваться понятием "критической" массы металла в ковше m^*, после превышения которой при дальнейшем выпуске не будет наблюдаться полного перемешивания металла, вплоть до конца выпуска. "Критическая" масса m^* пропорциональна "критическому" времени выпуска τ^*, где коэффициент пропорциональности V – скорость выпуска

$$m^* = V \cdot \tau^* \qquad (10)$$

Выполненные расчеты показали, что для реальных значений времени выпуска от 3 до 7 минут "критическая" масса увеличивается с 31 до 53т, что свидетельствует о более эффективном перемешивании при длительном выпуске, но длительный выпуск не рационален, т.к.масса полностью перемешанного металла в этом случае увеличивается незначительно, и кроме того, длительный выпуск приводит к возрастанию теплопотерь, поэтому наиболее рациональная продолжительность выпуска 5 минут.

Учитывая вышеизложенное, при разработке технологии внепечной обработки подшипникового металла твердыми шлакообразующими неиболее рационален следующий режим выпуска и продувки: время выпуска 100-т плавки - 5 минут. Технология должна предусматривать раннюю дачу материалов в ковш в момент до 20% наполнения ковша. Продувка аргоном осуществляется через трубку в шиберном затворе с самого начала выпуска с интенсивностью 20–40 $нм^3/ч$. По мере наполнения ковша до 30-40% интенсивность продувки следует увеличить до 100-120 $нм^3/ч$, что обеспечивает максимальную эффективность перемешивания и обработки металла формирующимся шлаком. К концу выпуска интенсивность продувки следует снизить до 40–60 $нм^3/ч$ во избежание выбросов металла и шлака.

Для полного перемешивания наполненного ковша необходимо определенное время перемешивания. Расчет этого времени, осуществленный по описанной ранее модели для случая 100% наполнения ковша, показал, что существенное влияние интенсивность продувки аргоном на время перемешивания оказывает в интервале от 0 до 60 $нм^3/ч$. Поэтому оптимальной интенсивностью продувки аргоном после окончания выпуска следует считать величину, близкую к 60 $нм^3/ч$, но учитывая возможность выплесков металла и шлака, максимальная практическая интенсивность продувки аргоном полностью наполненного ковша не может превышать 30–40 $нм^3/ч$. При этом время перемешивания должно быть не менее 3 минут.

2. Технология выплавки подшипниковой стали с внепечным рафинированием твердыми шлакообразующими смесями и одновременной продувкой аргоном

С учетом результатов моделирования процессов при продувке в ковше, разработана технология выплавки подшипниковой стали с внепечным рафинированием твердыми шлакообразующими материалами

Таблица I

Изменение содержания серы в металле за время обработки твердой шлакообразующей смесью в ковше в зависимости от способа продувки аргоном (средние значения)

Способ продувки	Кол-во плавок	Изменение содержания серы в металле за время обработки $[\Delta S]$, % x)	Содержание серы в готовом металле, % x)
Через трубку, установленную в шиберном затворе	39	0,022 0,0I9-0,025	0,008 0,005-0,0II
Через пористую пробку	23	0,0I5 0,0II-0,0I7	0,0I4 0,0I2-0,0I8
Через стопор	3	0,0I0 0,008-0,0I3	0,0I8 0,0I5-0,020

x) Числитель - среднее; знаменатель - пределы колебаний

Таблица 2

Изменение содержания серы в металле за счет обработки расплава в ковше (числитель - средние значения; знаменатель - пределы колебаний; среднее по 200 плавок каждого варианта)

Вариант обработки расплава в ковше	Содержание серы в металле перед выпуском, %	Содержание серы в готовом металле, %	Степень десульфурации, %
Твердыми шлакообразующими смесями с одновременной продувкой аргоном через пористый затвор	0,0298 0,020-0,039	0,0075 0,003-0,015	74 52-91
Жидким синтетическим шлаком	0,0280 0,016-0,043	0,0106 0,003-0,020	61 25-89
Печным основным шлаком	0,0244 0,014-0,034	0,0120 0,004-0,020	50 10-86

при одновременной продувке расплава аргоном через трубку, установленную в шиберном затворе в момент начала выпуска плавки. Опробовано 6 технологических вариантов этой технологии, отличающихся режимом раскисления и шлаковым режимом.

Установлено, что наиболее эффективной для десульфурации металла является технология с предварительным раскислением кремнием и полным удалением шлака из печи перед выпуском.

Сравнение степени десульфурации металла при различных вариантах продувки (табл.I) подтверждает выводы проведенного сравнительного холодного моделирования. Сравнение степени десульфурации подшипниковой стали при различных способах обработки металла в ковше подтверждает эффективность технологии АТШР (табл.2).

Показано, что вследствие устранения раскисляющего действия алюминия на оказавшиеся в стали шлаковые включения и, соответственно, улучшение условий их удаления наименьшая загрязненность стали неметаллическими включениями обеспечивается при выпуске плавки без предварительной присадки алюминия на дно ковша и последующим введением в металл алюминия в виде проволоки. Средний балл по сульфидным и оксидным включениям в стали, полученной по технологии с обработкой твердыми шлакообразующими и аргоном, был на уровне серийного металла, а по глобулярным значительно ниже. Количественная характеристика загрязненности подшипниковой стали показала, что сталь, выплавленная по технологии с обработкой твердыми шлаксобразующими и аргоном, менее загрязнена неметаллическими включениями, по сравнению со сталью, обработанной жидким синтетическим шлаком, особенно по глобулярным включениям.

Установлено, что неметаллические включения в металле, обработанном твердыми шлакообразующими и аргоном,представлены двумя типами: редкими глобулярными и относительно часто встречающимися оксидами в оболочке сульфида марганца.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. На основе исследования гидродинамики ванны и протекающих в ней массообменных процессов проведена оценка эффективности перемешивания расплава в ковше при различных способах продувки инертным газом. Показано, что наиболее эффективна продувка через трубку, установленную в шиберном затворе.

2. Установлено соотношение удельной мощности перемешивания струей металла в ковше при различных скоростях выпуска и удельной мощностью перемешивания при продувке аргоном. Показано, что удельная мощность перемешивания струей металла резко уменьшается после наполнения 20-30% высоты металла в ковше, поэтому при наполнении остальной части ковша целесообразна продувка металла аргоном.

3. Разработан режим продувки расплава аргоном во время выпуска плавки в ковш и после окончания выпуска. Определена рациональная длительность выпуска, обеспечивающая эффективное перемешивание металла.

4. Разработана технология выплавки подшипниковой стали с внепечным рафинированием твердыми шлакообразующими материалами и одновременной продувкой расплава аргоном через трубку, установленную в шиберном затворе с момента начала выпуска плавки.

5. Изучен шлаковый режим плавки в печи, в процессе выпуска стали и наведения шлака в ковше из твердых шлакообразующих материалов при перемешивании аргоном. Исследовано поведение кислорода, серы, фосфора в металле по ходу плавки в печи и аргоно-твердошлакового рафинирования в ковше.

6. Установлено, что наиболее эффективным по десульфурации металла является вариант с предварительным раскислением кремния и полным удалением шлака из печи перед выпуском.

7. Показано, что наименьшая загрязненность неметаллическими включениями обеспечивается при введении алюминия не на дно ковша перед выпуском, а в виде проволоки после выпуска. Это объяснено отсутствием раскисляющего действия алюминия на шлаковые включения в стали во время выпуска.

8. С использованием количественной характеристики загрязненности подшипникового металла показано, что сталь, выплавленная с обработкой твердыми шлакообразующими и аргоном, менее загрязнена неметаллическими включениями, по сравнению со сталью, обработанной синтетическим шлаком, особенно по глобулярным включениям. Меньше и средний балл по глобулярным включениям.

9. Проведено опытно-промышленное опробование технологии выплавки и внепечной обработки подшипниковой стали твердыми шлакообразующими материалами и аргоном, что позволило внедрить эту технологию производства стали в крупнотоннажных печах (ЧЫК, ДСС),

а также на печах средней емкости (ЗМЗ) и обеспечить стабильность качественных показателей подшипникового металла.

I0. Внедрение новой технологии производства подшипниковой стали привело к значительному улучшению технико-экономических показателей работы цехов вследствие ликвидации печей для выплавки синтетического шлака, улучшения организации работы в цехах и улучшения качественных показателей готового металла. Экономический эффект от внедрения новой технологии составил 800 тыс. рублей (доля автора 90 тыс.руб.).

Материалы диссертации изложены в следующих публикациях:

I. Технология выплавки подшипниковой стали в печах большой емкости с десульфурацией металла твердыми шлакообразующими материалами в ковше /Р.Ф.Максутов, Ц.Л.Катман, Л.Я.Рудашевский...., Л.И.Мирковский и др.// Черная металлургия. Бюл.ин-та"Черметинформация". - I988. - Вып.I7 (I069)- С.40-4I.

2. Влияние способа продувки инертным газом на эффективность перемешивания жидкой стали в ковше /А.Г.Флейшер, Д.Я.Поволоцкий, Л.И.Мирковский и др.// Известия вузов. Черная металлургия. - I989.- № I0, с.20-23.

3. Исследование методом математического моделирования процесса перемешивания металла в ковше по ходу выпуска плавки/ А.Г.Флейшер, Д.Я.Поволоцкий, Л.И.Мирковский и др.// Известия вузов. Черная металлургия.- I989.- № I2,- с .I26-I29.

4. Совершенствование технологии внепечной десульфурации стали/ А.Х.Кадарметов, Л.И.Мирковский, С.В.Галян// Новая технология и техническое перевооружение электросталеплавильного производства: Науч.тр./ НИИМ.- Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, I989, с.2I-23.

5. Внепечная десульфурация подшипниковой стали твердыми шлакообразующими смесями/ Л.И.Мирковский, Ц.Л.Катман, Л.Я.Рудашевский, А.Г.Флейшер// Повышение качества и эффективности производства электростали/ МЧМ СССР. Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, I989, с.6-9.

6. Сравнение эффективности перемешивания металла в ковше струей сливаемого металла и продувкой инертным газом на основе математического моделирования / А.Г.Флейшер, Д.Я.Поволоцкий,

Л.И.Мирковский и др.// Известия вузов. Черная металлургия. - 1990, - № 2, с.97-99.

7. Формирование шлаков при использовании твердых шлакообразующих смесей для десульфурации стали/ В.Г.Мизин, Н.Л.Жило, И.С.Острецова..., Л.И.Мирковский// Известия АН СССР. Металлы. - 1990, - № 2, с.5-10.

8. Кацман,Ц.Л., Флейшер А.Г., Галян С.В...., Мирковский Л.И. и др. Внепечная десульфурация подшипниковой стали без применения синтетических шлаков// Шестая Всесоюзная научная конференция "Современные проблемы электрометаллургии стали" (22-25 сентября 1987г.): Тезисы докладов. - Челябинск. - 1987. - с.151.

9. Флейшер А.Г., Галян С.В., Мирковский Л.И. Эффективная технология внепечной десульфурации стали// Отраслевая молодежная научно-техническая конференция "Научно-технический прогресс в производстве ферросплавов и электростали" (2-4 марта 1988г.): Тезисы докладов.- Челябинск, - 1988, - с.5.

10. Мирковский Л.И., Радченко Ю.А., Кацман Ц.Л. и др. Разработка эффективной технологии внепечной десульфурации стали// Научно-технический семинар "Новые методы и оборудование для внепечной обработки стали/ (6-8 июня 1888г.): Тезисы докладов. - Челябинск, - 1988, - с.7.

11. Рябов В.В., Хасин Г.С., Соколов В.Н...., Мирковский Л.И. и др. Десульфурация подшипниковой стали в ковше твердыми шлакообразующими// Научно-технический семинар "Новые методы и оборудование для внепечной обработки стали" (6-8 июня 1988г.): Тезисы докладов. - Челябинск,- 1988, - с.24.

12. Максутов Р.Ф., Иванов А.В., Кацман Ц.Л....., Мирковский Л.И. и др. Новая технолгия внепечной обработки подшипниковой стали при выплавке в 100-т дуговых электропечах// Всесоюзная научно-техническая конференция "Обобщение опыта эксплуатации высокомощных дуговых сталеплавильных печей" (12-14 июня 1989г.): Тезисы докладов. - Челябинск, - 1989, - с.28-29.

13. Мирковский Л.И., Флейшер А.Г., Поволоцкий Д.Я. и др. Исследование процесса перемешивания металла аргоном в ковше// Третья республиканская научно-техническая конференция "Техническое перевооружение и внедрение новых ресурсосберегающих технологий в электросталеплавильном производстве": Тезисы докладов. - Днепропетровск, - 1989, - с.63-64.