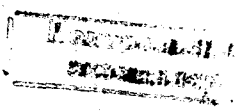


75.16.02 3)  
166

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
им. Ленинского комсомола



На правах рукописи  
Инженер ГАДЛЯМОВ Радик Нургалиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ СОКРАЩЕНИЯ  
ЦИКЛА КИСЛОРОДНО - КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ  
(разработка устройств, совершенствование  
технологии)

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, 1977

ЧТИ

Работа выполнена на кафедре металлургии стали Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола и в конверторном цехе Челябинского ордена Трудового Красного Знамени металлургического завода.

Научный руководитель — профессор, доктор технических наук Д.Я. Поволоцкий.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук А.М. Бигеев,  
доцент, кандидат технических наук Б.Н. Огороков.

Ведущее предприятие — Западно-Сибирский металлургический завод.

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 197\_\_ г.  
на заседании Специализированного совета К-597/3 по присуждению  
ученой степени кандидата наук в Челябинском политехническом ин-  
ституте имени Ленинского комсомола.

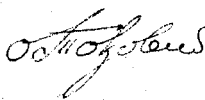
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся  
темой диссертации, принять участие в заседании Совета или прислать  
отзыв (в двух экземплярах, заверенных печатью).

Адрес института: 454044, г. Челябинск, пр. Ленина, 76,  
телефон 39-39-64.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 197\_\_ г.

Ученый секретарь Специализированного совета,  
доцент, кандидат технических  
наук

 О.К. Токовой

Актуальность. Одним из основных параметров кислородно-конвертерного процесса является длительность плавки, поэтому изучение путей её сокращения имеет важное значение. В большинстве опубликованных работ рассмотрена возможность сокращения цикла плавки за счёт увеличения интенсивности продувки, модернизации устройств для ускорения загрузки шихтовых материалов или использования управляющих вычислительных машин. Вместе с тем сокращение длительности плавки за счёт уменьшения технологических простоев конвертора, связанных с коррекцией состава или температуры металла или ожиданием результатов химического анализа, также является существенным резервом повышения производительности кислородных конверторов.

Цель работы. Целью диссертационной работы является:

1. Разработка устройств и совершенствование технологии плавки для увеличения доли плавок, выпущенных с заданной температурой стали на первой повалке конвертера.
2. Разработка быстродействующих дискретных средств и методики прогнозирования содержания углерода для уменьшения времени ожидания результатов химического анализа металла.

Последнее потребовало решения ряда сопутствующих вопросов, таких как:

- а) подбор твердого электролита и электрода сравнения для определения активности кислорода в стали ;
- б) разработка конструкции активометра ;
- в) изучение представительной точки измерения в конвертерной ванне ;
- г) выяснение наиболее значимых параметров плавки, определяющих активность кислорода в металле ;
- д) расчёт максимальной погрешности измерения активности кислорода и прогнозирования содержания углерода.

Научная новизна. Разработана аппаратура, исследована и усовершенствована технология плавки, которая обеспечивает уменьшение количества плавок, требующих корректировки температуры металла.

Разработан активометр для кратковременного дискретного измерения окисленности металла, по измеренному значению ЭДС которого можно экспрессно прогнозировать содержание углерода в стали. Математическим моделированием на ЭВМ М-222 оценена точность разработанной аппаратуры и намечены пути её повышения.

Изучена степень неоднородности кислородно-конвертерной ванны после окончания продувки на повалке конвертера и предложены способы её уменьшения. Методом корреляционного анализа определено влия-

ние различных параметров кислородно-конвертерной плавки на активность кислорода в металле и показано, что единственно значимым фактором, определяющим окисленность металла, является содержание углерода. Методом дифференциального анализа оценена погрешность методики прогнозирования углерода по измеренному значению активности кислорода в металле и установлены границы её применимости.

Практическая ценность. Материалы исследования и результаты разработок использованы Всесоюзным научно-исследовательским институтом автоматизации черной металлургии при подготовке к серийному выпуску активометра для экспрессного измерения активности кислорода в стали.

Промышленное внедрение. В кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) Челябинского металлургического завода (ЧМЗ) внедрены:

1. Автоматические устройства для регистрации положения кислородной фурмы и расхода сыпучих материалов, присаживаемых в конвертер во время плавки.

2. Установки для измерения активности кислорода и температуры стали в сталеразливочном ковше.

3. На основании результатов исследования в технологическую инструкцию по выплавке и разливке стали в ККЦ ЧМЗ внесены изменения, направленные на устранение неоднородности конвертерной ванны после окончания периода продувки.

Апробация. Материалы работы докладывались и обсуждались:

- на семинаре "Техника измерений активности кислорода в металлургических и шлаковых расплавах электрохимическим методом" Научного Совета по физико-химическим основам металлургических процессов Академии наук СССР, г. Москва, июнь 1974 г.

- на семинаре "Применение результатов физико-химических исследований для разработки металлургических технологий" Научного Совета по физико-химическим основам металлургических процессов Академии Наук СССР, г. Челябинск, сентябрь 1975 г.

- на У Всесоюзной конференции "Теория и практика кислородно-конвертерных процессов", г. Днепропетровск, октябрь 1977 г.

Публикация. По материалам диссертации опубликовано 11 статей и получено одно авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертация содержит 102 стр. текста, 20 отдельных таблиц на 20 стр., 46 рис. на 43 стр., список использованной литературы из 181 наименования на 12 стр., 15 приложений (8 таблиц, 3 рисунка, 3 акта внедрения, 1 изменение к инструкции).

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обзор работ, посвященных повышению производительности кислородных конвертеров, показывает, что они имеют различные направления.

Большая часть усилий направлена на сокращение периодов продувки и загрузки конвертера за счёт их интенсификации. Другим направлением является автоматизация процесса с использованием ЭВМ. Имеющиеся технические средства и математический аппарат доведен в настоящее время до практического использования. Рассматривая это направление как одно из перспективнейших, следует всё же заметить, что широкому внедрению автоматизации для управления плавкой мешает отсутствие надежных и быстродействующих устройств, дающих первичную информацию о ходе процесса. Современные средства анализа стали либо несовершенны, либо длительны. Причем, существующие методы мало пригодны для анализа металла в процессе плавки. Это обстоятельство не позволяет в полной мере использовать автоматические системы и, следовательно, получать реальные экономические выгоды. В связи с этим первой задачей работы было создание устройств, дающих конкретную информацию о ходе кислородно-конвертерного процесса.

Большим резервом повышения производительности современного кислородно-конвертерного процесса является сокращение цикла плавки за счёт уменьшения числа корректировок состава и температуры металла, причём затраты времени, связанные с промежуточными полавками из-за отклонения температуры металла от заданных пределов, ощутимо выше, чем затраты времени, связанные с корректировкой состава. Отсутствие средств непосредственного контроля температуры металла в процессе продувки ведёт к большим ошибкам в её субъективной оценке оператором, и, следовательно, к малому соответствию истинной температуры стали заданным пределам в конце продувки.

В настоящей работе была сделана попытка использовать при управлении процессом не прямую, но объективную информацию о тепловом состоянии ванны с целью предоставления оператору возможности количественной оценки возмущений, возникающих в ходе процесса и влияющих на температурный режим ванны, и, следовательно, сокращения доли плавов, температура металла в конце которых отличается от заданных пределов и требует корректировки. Совершенствование технологии плавки, позволяющей использовать такую информацию для управления процессом, входило в задачу работы.

Управление быстротечным кислородно-конвертерным процессом требует экспрессной информации о составе металла. Для этих целей может быть использован применяемый уже в металлургии метод ЭДС. Трудность его использования обусловлена необходимостью применения низкоинерционной аппаратуры, обеспечивающей измерение контролируемого параметра в течении 10-12 сек. Разработка быстродействующего активометра, пригодного для кратковременного дискретного определения активности кислорода в жидкой стали, явилась одной из задач исследования. Для этого потребовалось решить ряд сопутствующих вопросов, связанных с подбором чувствительных элементов датчика - твердого электролита и электрода сравнения, конструктивным оформлением датчика и активометра в целом, модернизацией вторичной аппаратуры, и других.

Одним из важнейших контролируемых параметров кислородно-конвертерной плавки является содержание углерода в металле. В стечественной практике уже имеется опыт использования метода ЭДС для определения содержания углерода в двухванной мартеновской печи. Однако для применения метода ЭДС с целью определения содержания углерода в ванне кислородного конвертера необходимо выяснить ряд специфических вопросов, связанных с принципиальной возможностью такого определения. Кроме того, коренным вопросом любых измерений является выбор представительной точки измерений. Решение этого вопроса потребовало исследования структуры кислородно-конвертерной ванны и средств, позволяющих влиять на ускорение выравнивания состава металла:

Таким образом в задачи исследования входило:

- а) разработка устройств и технологии плавки, позволяющих увеличить долю плавок, выпущенных с заданной температурой металла на первой повалке конвертера.
- б) разработка малоинерционного активометра для определения активности кислорода в стали с использованием его показаний для экспрессного прогнозирования содержания углерода.

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ И ПРИСАДКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В КОНВЕРТЕР

Анализ современных экспериментальных и теоретических данных показал, что даже небольшие изменения в положении фурмы во время продувки могут оказывать существенное влияние на тепловое состояние ванны и что контроль и управление процессом требует объективной, удобной для учёта и последующего использования информации о

положении фурмы в течение плавки. Существующие в настоящее время системы измерения положения фурмы во время продувки не приспособлены для регистрации и последующего использования этой информации для управления процессом.

С целью фиксации траектории фурмы во время продувки разработано и внедрено устройство, основанное на применении дифференциальной системы передачи показаний. Запись положения фурмы в конвертере во время продувки осуществляется на вторичном приборе типа ДС-I-01, постоянная скорость лентопротяжки которого позволяет фиксировать изменение положения фурмы во времени. При необходимости дублирования траектории фурмы предыдущей плавки для возвращения диаграммы в исходное положение установлен узел возврата.

Автоматическое устройство регистрации и суммирования расхода сыпучих материалов основано на методе компенсации путем сравнения неизвестного напряжения с напряжением, образованным в диагонали измерительного моста, и состоит из: измерительной схемы переменного моста; коммутирующего блока; балансирующих двигателей и электронного усилителя, к выходу которого посредством блока реле подключены управляющие обмотки двигателей. На устройство регистрации расхода сыпучих материалов получено авторское свидетельство СССР № 531040.

Первый этап работы включал изучение влияния положения фурмы над ванной на температурный режим плавки. Изучению подлежал период от начала продувки до первой повалки конвертера для отбора пробы и измерения температуры металла. Опытные плавки одновременно проводились на двух конвертерах, работающих в сходных условиях, но имеющих разный возраст футеровки.

В ККЦ ЧМЗ в связи с разнохарактерным составом шихты используется дутьевой режим с переменным положением фурмы над уровнем металлической ванны, при котором продувка начинается при относительно высоком положении фурмы над уровнем спокойной ванны (1400-1800 мм), а затем в течение первой четверти продувки опускается до постоянного положения (600 - 1000 мм).

Сопоставление скорректированной с учётом охлаждающего влияния изменяющегося состава шихты температуры на первой повалке конвертера с положением фурмы во время последних 3/4 продувки, т.е. в течение того периода плавки, когда положение фурмы над поверхностью ванны остаётся практически неизменным, позволяет с достаточной надёжностью ( $\mu=3,7$ ) считать такую корреляционную связь не случайной ( $\tau=0,51$ ). Имеющий место рассев экспериментальных данных объясняется, вероятно, отсутствием учета ряда возмущающих воздействий

таких как положение фурмы в первой четверти продувки, интенсивность дутья, простой конвертера перед каждой плавкой и др.

С целью учёта влияния положения фурмы на температуру металла воспользовались плавки, проведенные без охлаждения, имеющие сходное содержание углерода на первой плавке конвертера и близкую продолжительность продувки. Показано, что положение фурмы во время продувки оказывает заметное влияние на окончательную температуру металла не только в течение последних 3/4 продувки, но и во время первой четверти продувки.

Сравнение плавок, во время продувки которых не применяли охлаждающие добавки, показало, что даже небольшие (100-150 мм) и зачастую не замечаемые оператором изменения в расположении фурмы над ванной во время продувки приводят к таким систематическим и закономерным изменениям температуры металла, которые вызывают необходимость корректировки температуры додувной или охлаждением.

Охлаждающие присадки ещё в большей степени затрудняют оперативный прогноз температуры металла в конце процесса, т.к. такие присадки производятся порциями равной массы, причём охлаждение может производиться различными материалами, имеющими разный охлаждающий эффект. Вследствие этого 38% плавок в КЦ ЧМЗ нуждаются в корректировке температуры.

Изучение плавок, в ходе которых использовали различные охладители, показало, что, точно фиксируя суммарный расход охладителей на плавку и учитывая их охлаждающий эффект, а также положение фурмы над ванной, можно с достаточной для практических целей точностью регулировать температуру металла в конце плавки.

Для проверки этого предложения в КЦ ЧМЗ провели 47 опытных плавок по действующей технологии с использованием систем регистрации положения фурмы и сыпучих материалов. Опыты проводили группами по 4-6 плавок. В плавках каждой группы траектория фурмы над ванной выдерживалась точно такой, какой она была на первой плавке данной группы.

В первой серии исследований использовали для управления процессом только систему регистрации положений фурмы. Влияние расхода сыпучих материалов оператор учитывал обычным способом.

В табл. I составлены результаты исследований со среднестатистическим результатом работы цеха в течение двух месяцев 1975 г., во время которых проводили опытные плавки. Видно, что простая стабилизация положения фурмы на опытных плавках положительно сказалась на результатах работы. Число плавок, требующих корректировку, сократилось на 8%.



Таблица I

Доля плавки с корректировкой температуры по обычной и опытной технологиям

Показатель	Технология							
	обычная		опытная					
	кол-во	%	Серия I		Серия E		Всего	
кол-во			%	кол-во	%	кол-во	%	
Всего плавки	4081	100	20	100	27	100	47	100
Плавки с корректировкой	1545	38	6	30	5	18,5	11	23,4
а) нагрев	741	18,2	2	10	5	18,5	7	14,9
б) охлаждение	804	19,8	4	20	-	-	4	8,5

Вторую серию исследований проводили с использованием систем регистрации положения фурмы и расхода сыпучих материалов. Эта серия плавки, так же как и предыдущая, проводилась при одинаковой траектории фурмы во время продувки, однако изменения в составе шихты учитывались оперативно. Видно (табл. I), что при использовании систем регистрации положения фурмы и расхода сыпучих материалов и проведении плавки по предложенной технологии, число плавки, требующих корректировку температуры, может быть сокращено почти вдвое.

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО ДИСКРЕТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ КИСЛОРОДА В СТАЛИ МЕТОДОМ ЭДС

Отличительной особенностью метода ЭДС является возможность получения информации об активности кислорода непосредственно в жидком металле, что исключает методические недостатки, имевшие место при отборе и анализе твердых проб металла.

Одним из важнейших элементов высокотемпературной гальванической ячейки активометра является твердый электролит. Специфические требования к служебным свойствам твердых электролитов заставили наряду с хорошо зарекомендовавшей в зарубежной практике двуокисью циркония опробовать и керамику на основе глинозема, обладающую высокой термостойкостью. Всего было испытано 25 партий твердых

электролитов, отличающихся составом, условиями изготовления и конструкций. Лабораторные и промышленные исследования показали, что керамика на основе глинозема не обеспечивает достаточную воспроизводимость ЭДС гальванической ячейки ввиду значительного колебания доли ионной проводимости в изделиях одной партии твердых электролитов. Попытка создания конструкции датчика с применением двух электродов сравнения с целью исключения изменяющейся даже в пределах одной партии доли ионной проводимости твердого электролита (метод отношений) хотя и привела к повышению точности измерения, но не позволила использовать такую конструкцию в активометре кратковременного измерения активности кислорода в стали из-за большой инерционности и низкой стойкости керамики сложной формы.

Дальнейшие исследования были направлены на использование в качестве твердого электролита керамики на основе двуокиси циркония. Изучены 13 партий (252 датчика) твердых электролитов, стабилизированных окислами иттрия, скандия, кальция и магния, с добавками для термостойкости  $V_2O_5$ , моноклинной  $ZrO_2$  и глинозема. Испытания проводили в печи сопротивления с графитовым нагревателем в атмосфере аргона в интервале температур 1550 - 1650°C последовательным погружением в металл двадцати образцов каждой партии керамики.

На основании опытов для использования в малоинерционном активометре рекомендована керамика на основе двуокиси циркония, стабилизированной 12 мол.% CaO, с добавкой для термостойкости 5% глинозема. Датчики с такой керамикой обеспечивают воспроизводимость показаний в лабораторной печи с погрешностью, не превышающей 5 отн % (для надежности 0,99). Получено удовлетворительное совпадение результатов определения содержания кислорода в металле методами ЭДС и вакуум - плавления.

Электрод сравнения является одним из чувствительных элементов датчика. И хотя исследование электродов сравнения само по себе является большой и сложной проблемой, не входящей в задачу настоящей работы, вопрос об оптимальном количестве электрода сравнения в датчике и о рациональном соотношении компонентов в электроде сравнения требовал решения, т.к. от этих факторов зависит успех поставленной задачи. Для малоинерционного активометра масса электрода сравнения играет важную роль, т.к. в первом приближении инерционность датчика определяется продолжительностью прогрева

его до температуры окружающей среды. Однако при этом важно иметь массу электрода сравнения, обеспечивающую устойчивые показания активометра в течение всего времени измерения. Для этого соотношение между металлом и его окислом в электроде сравнения должно быть таким, чтобы обеспечить запас этих компонентов в электроде сравнения при любых изменениях внешних условий во время измерения.

В качестве электрода сравнения (ЭС) использовали системы  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Mo}$ ,  $\text{MoO}_2$ . Изучали влияние массы ЭС (от 0,2 до 0,8 г) и соотношения компонентов в смеси  $\text{Me}_x\text{MeO}$  (10:90; 50:50; 90:10) на устойчивость показаний активометра. Электроды после опытов в металле анализировали рентгенографически. В результате исследований установлено, что требованием дискретного кратковременного измерения лучше всего отвечает электрод сравнения на основе металл-окисел массой 0,2г и соотношением  $\text{Me}:\text{MeO} = 50 : 50$ . Датчики с таким количеством и составом электрода сравнения дают устойчивые показания уже через 10 сек после погружения.

Разработана принципиальная схема датчика низкоинерционного активометра с керамикой на основе двуокиси циркония, а также конструктивное оформление датчика и активометра в целом. В основу конструкции активометра был положен широко используемый промышленностью термоэлектрический термометр со сменным блоком ТТСБ.

Использование активометра для измерения активности кислорода в металле в условиях действующего сталеплавильного цеха потребовало решения ряда вопросов, связанных с модернизацией вторичной аппаратуры.

Известно, что для исключения поляризации концентрационный элемент должен работать в комплекте со вторичным прибором, имеющим высокое входное сопротивление. С целью использования в комплекте активометра серийных быстродействующих потенциометров типа КСП-4 и для исключения помех при передаче сигнала от датчика ко вторичному прибору была разработана и изготовлена приставка, имеющая высокое входное сопротивление, токовый сигнал на выходе и малые габариты. Приставка выполнена в комплекте с гибким кабелем и соединяется с жезлом активометра с помощью штепсельного разъема. Для удобства измерения окисленности металла и его температуры в сталеразливочном ковше разработаны и внедрены на всех конвертерах ККЦ ЧМЗ установки, позволяющие механизировать ввод датчика в жидкий металл.

В работе методом математического моделирования на ЭММ М-222 оценена погрешность методики измерения активности кислорода в стали и намечены пути повышения её точности. Уравнение Нернста для определения активности кислорода в стали ( $a_o$ ) при известной активности его в электроде сравнения ( $a_o^*$ ) по результатам измерения ЭДС ( $E$ ) при температуре  $T$  и ионной проводимости  $t_i$  имеет вид:

$$E = \frac{T t_i}{10} \lg \frac{a_o}{a_o^*} \quad (1)$$

Преобразование ур. (1) дает:

$$a_o^* + \Delta a_o = 10^{\frac{10(E^* + \Delta E)}{T t_i} + A + \frac{B}{T + \Delta T}} \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  постоянные, абсолютная величина которых зависит от типа электрода сравнения. Звездочкой обозначены истинные значения величин, а  $\Delta a_o$ ,  $\Delta E$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta t_i$  - погрешности определения соответствующих факторов. Расчет производили для температур металла 1600°C и четырех фиксированных значений активности кислорода: 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1, - охватывающих практически весь интервал концентраций, который встречается при выплавке стали. При этих уровнях окисленности металла исследовалось влияние на погрешность определения активности кислорода погрешности определения каждого из параметров в отдельности ( $T, E, t_i$ ), двух из них и всех трех вместе. Кроме того расчет производили применительно к использованию в качестве электродов сравнения графита и смеси  $C_2, C_2, O_2$ .

Анализ результатов математического моделирования показал, что в случае применения керамики на основе двуокиси циркония максимальная погрешность измерений при использовании серийных вторичных приборов и термопар может достигать 10-14%.

Активометр испытывали в 20-кг индукционной печи, кислородном конвертере емкостью 130 т. и в сталеразливочном ковше при температурах 1550-1650°C. Результаты опытов позволили выбрать конструктивное оформление сменного блока, погружаемого в жидкий металл, и установить, что отклонение показаний в серии из 3-5 измерений кислорода в металле не превышает 8 отн.%. Сопоставляя определения методом ЭДС содержания кислорода с концентрацией углерода в металле, получили четкую связь между ними ( $r = 0,96$ ). Получено удовлетворительное совпадение значений содержания кислорода, определенных методами ЭДС и вакуум-плавания, что позволяет считать разработанное устройство достаточно надежным.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В СТАЛИ ПО ПОКАЗАНИЯМ АКТИВОМЕТРА**

Определение представительной точки измерения любой характеристики большой массы металла является важным вопросом, так как по измерению в одной локальной зоне судят о составе всей ванны. Поэтому одной из задач исследования было изучение степени неоднородности металлической ванны после окончания продувки.

Пробы металла по глубине ванны 130-т конвертера отбирались специальной гирилкой, на которой закреплялись два стаканчика, расстояние между которыми определялось предварительными опытами из расчёта, чтобы нижний стаканчик в момент выятия пробы находился вблизи футеровки конвертера, а верхний - вблизи шлакового слоя.

Основной целью исследования было установление связи между технологией продувки, состоянием конвертера, составом стали и степенью неоднородности ванны жидкого металла. Распределение элементов по глубине ванны кислородного конвертера изучали после нормальной продувки при разном возрасте футеровки и после охлаждения плавки известью, окатышами или известняком. Исследовали также влияние додувки на распределение элементов по глубине ванны конвертера.

Кроме того, в целях получения представительного химического анализа металла изучили изменение состава по глубине ванны в течение выдержки металла в конвертере после окончания додувки и при механическом перемешивании ванны посредством покачивания конвертера.

Установлено, что  $\delta, \epsilon, \eta$  распределены по глубине ванны равномерно. В исследованных пределах (0, 1+0,48%) углерод относительно равномерно распределяется по глубине ванны на высоте конвертера при нормальном протекании плавки, а также в случае додувок продолжительностью 0,5 - 2,0 мин или охлаждения ванны известью или окатышами в количестве до 2,0 т. Однако, если после додувки в металле остается менее 0,1% углерода, состав металла по глубине ванны существенно различается. Относительный градиент концентраций возрастает с уменьшением содержания углерода:

среднее содержание			
углерода в металле, % :	0,09	0,07	0,03
относительный перепад			
концентраций, %	11,1	57,1	66,6

Опыты показали, что минутная выдержка после додувки или покачивания конвертера (2-3 качка) достаточны для получения представительной пробы металла. Результаты исследования дали основание

Внести соответствующие изменения в технологическую инструкцию по выплавке и разливке стали в КИЦ ЧМЗ, а реализация предложенных мероприятий позволила получить экономический эффект в размере 78,4 тыс. рублей в результате повышения выхода плавок с заданным содержанием углерода.

В работе показано, что связь между содержаниями углерода и кислорода в металле на разных горизонтах ванны лежит в одинаковых пределах и описывается сходными уравнениями с одинаковой теснотой связи между факторами ( $r = 0,87$ ). Это обстоятельство дает возможность полагать, что независимо от горизонта, на котором производится измерение, можно, зная произведение концентраций кислорода и углерода в металле, по измеренному значению кислорода прогнозировать содержание углерода в жидкой стали.

Это предположение подтверждает изучение влияния основных параметров плавки на окисленность конверторного металла. Активность кислорода в металле, его содержание, температуру, состав металла и шлака контролировали на повалке конвертора перед сливом стали в ковш. Всего было проведено 33 плавки.

Определенные методом ЭДС значения активности кислорода в металле подвергали математической обработке на ЭВМ "Минск-22" с целью установления факторов, определяющих окисленность металла. Рассчитанное уравнение линейной множественной регрессии, описывающее зависимость активности кислорода в металле от наиболее значимых технологических параметров, позволило, в соответствии с законами математической статистики, считать связь активности кислорода в металле с факторами, заложенными в программу, с вероятностью 0,99 не случайной ( $R = 0,59$  ;  $\mu = 4,49$  ).

Оценивая тесноту связи между изучаемыми параметрами по величинам частного коэффициента корреляции  $r = -0,71$  и критерия достоверности  $\mu = -6,74$ , можно отметить, что решающее влияние на активность кислорода в металле на повалке конвертера оказывает углерод.

Таким образом, имея экспрессную информацию об активности кислорода в металле и зная характер связи её с углеродом, можно прогнозировать содержание углерода в жидкой стали.

В работе была сделана попытка оценить погрешность такой методики и установить границы её применимости. Методом дифференциального анализа уравнения

$$a_{[C]} \cdot a_{[O]} = [C] \cdot f_c \cdot [O] \cdot f_o = m, \quad (3)$$

где  $a_{[C]}, a_{[O]}$  - активности углерода и кислорода,  
 $f_c, f_o$  - коэф. активности углерода и кислорода,  
 $m$  - при постоянном давлении есть величина постоянная,

оценили влияние точности определения содержания кислорода с помощью активометра на погрешность прогнозирования содержания углерода в металле. Продифференцировав ур. (3) по кислороду, преобразовав его относительно  $d[C]$  и перейдя к конечным разностям, получили:

$$\Delta[C] = \left| \frac{[C] \cdot (-0,6839[O] - \frac{\Delta[O]^*}{100})}{1 + 0,2672[C]} \right|. \quad (4)$$

Здесь  $\Delta[C]$  - погрешность прогнозирования содержания углерода,

$\Delta[O]^*$  - относительная погрешность определения кислорода.

Используя ур. (4), оценили точность прогнозирования содержания углерода в жидкой стали. Расчет возможной погрешности измерения проводили для содержания углерода в металле в пределах 0,07-0,80% при условии определения содержания кислорода в металле с точностью  $3 \pm 50\%$  отн.

Установлено, что метод ЭДС может обеспечить экспрессное прогнозирование содержания углерода в жидкой стали в интервале концентраций 0,07-0,45% с погрешностью, не превышающей 0,02%, при условии определения содержания кислорода с погрешностью не более 5 отн. %.

## ВЫВОДЫ

I. Разработаны и внедрены в промышленную эксплуатацию в КИЭ ЧМЗ устройства для автоматической регистрации положения кислородной фурмы и расхода сыпучих материалов во время продувки. Установлена связь между положением кислородной фурмы над ванной во время продувки и температурой металла в конце плавки. Показано, что с помощью этих устройств можно регулировать температуру металла в конце плавки в достаточно узких пределах. Кроме того, устройство для регистрации расхода сыпучих материалов позволяет улучшить технологическую дисциплину.

организовать учет и способствует экономии расхода сыпучих материалов.

2. Разработана и опробована технология продувки, удачно сочетающая преимущества дугевых режимов с переменным и постоянным положением фурмы над уровнем металла. Предлагаемая технология плавки позволяет уменьшить долю шлаков, требующих коррекцию по температуре, с 38% до 23%.

3. Исследованы керамические и электрические свойства 38 партий твердых электролитов на основе глинозема и двуокиси циркония. Для низкоинерционного активометра рекомендован твердый электролит из  $ZrO_2$ , стабилизированной 12 мол.%  $CaO$ , с добавкой для термостойкости 5% глинозема. Относительная погрешность измерения датчиками с такой керамикой в лабораторных условиях не превышает 5 отн %.

4. Разработаны конструкции датчика и активометра в целом, модернизирована измерительная аппаратура для кратковременного разового измерения активности кислорода в стали. Установлены оптимальные состав и масса электрода сравнения на основе системы  $Mn, MnO$ . Методом математического моделирования произведена оценка максимальной погрешности измерения активности кислорода в металле и намечены пути повышения точности измерения. Показано, что при использовании современной серийной аппаратуры и соответствующей керамики максимальная погрешность измерений не превышает 10-14%.

5. Показано удовлетворительное совпадение результатов определения содержания кислорода в стали методами ЭДС и вакуум - плавления в 20-кг индукционной печи и 130-т конвертере. Отклонение показаний в серии измерений составляет около 8 отн %.

6. Разработаны, смонтированы и сданы в промышленную эксплуатацию в ККЦ ЧМЗ установки для кратковременного дискретного измерения температуры и окисленности металла в сталеразливочном ковше.

7. Внесены изменения в технологическую инструкцию ККЦ ЧМЗ по вылавке и разливке стали, направленные на устранение неоднородности низкоуглеродистой стали и металла шлаков, проведенных с додувкой и одновременной добавкой охладителей.

8. Методом многофакторного корреляционного анализа результатов эксперимента показано решающее влияние углерода на активность кислорода в металле при его содержании в интервале



0,07 - 0,48%. Экспресс - информация об активности кислорода в металле позволяет прогнозировать содержание углерода в жидкой стали на повалке конвертера. Методом дифференциального анализа оценена погрешность прогнозирования содержания углерода в расплаве. Установлено, что при условии измерения активности кислорода в металле с погрешностью не более 5% метод ЭДС может обеспечить экспрессное прогнозирование содержания углерода в интервале концентраций 0,07- 0,48% с погрешностью, не превышающей 0,02%.

Общий экономический эффект от внедрения результатов данной работы составил 205789 рублей в год.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Д.Я.Поволоцкий, Г.П.Вяткин, В.М.Золотаревский, Ю.А.Данилович, О.К.Токовой, Р.Н.Галлямов, Н.В.Семкина. К вопросу определения активности кислорода в расплавленной металлической ванне. "Известия вузов. Черная металлургия". 1973, № 12 с.49-52.

2. О.К.Токовой, Г.П.Вяткин, Б.М.Золотаревский, Н.В.Семкина, Г.А.Мамаева, Р.Н.Галлямов, М.Л.Шульгин, А.В.Хохлов. К методике определения окисленности кислородно-конвертерной стали в конвертере в ковше методом ЭДС. Сб.трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", № 133, Челябинск, 1974, с 86-92.

3. Р.Н.Галлямов, О.К.Токовой, Г.П.Вяткин, С.А.Лисин. Установка для измерения активности кислорода и температуры металла в сталеразливочном ковше. Сб.трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", № 147, Челябинск, 1974, 64-67.

4. Д.Я.Поволоцкий, О.К.Токовой, М.В.Абезгауз, А.А.Попов, Р.Н.Галлямов. Влияние технологии плавки на распределение элементов по глубине ванны при повалке 125-тонного кислородного конвертера. "Сталеплавильное производство". Межвузовский сборник. Кемерово, 1975, с.59-63.

5. Р.Н.Галлямов, О.К.Токовой, В.А.Старинец. Система контроля положения кислородной фурмы в конвертере во время продувки. Сб.трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", № 163, Челябинск, 1975, с.94-96.

6. О.К.Токовой, Р.Н.Галлямов, А.В.Хохлов, А.А.Эпов. Активометр для определения активности кислорода в стали. "Металлург", 1976, № 6, с.23-24.

7. Д.Я.Поволоцкий, О.К.Токовой, Р.Н.Галлямов, А.В.Речкалова, М.Л.Шулькин, А.В.Хохлов. Определение окисленности и условий раскисления кислородно-конвертерной стали. "Известия вузов. Черная металлургия", 1976, № 8, с.32-35.

8. Д.Я.Поволоцкий, О.К.Токовой, Р.Н.Галлямов, Н.Ф.Кравцов, Р.А.Симсарьян. Система автоматической регистрации расхода сыпучих материалов при кислородно-конвертерной плавке. "Бюллетень Черная металлургия", 1976, № 22, с.40-41.

9. Д.Я.Поволоцкий, О.К.Токовой, Р.А.Симсарьян, Р.Н.Галлямов. О точности определения активности компонентов в расплаве методом ЭДС. "Известия вузов. Черная металлургия", 1977, № 2, с.26-29.

10. Д.Я.Поволоцкий, О.К.Токовой, Р.Н.Галлямов, А.А.Эпов, А.В.Хохлов. Измерение активности кислорода в стали. "Металлург", 1977, № 3, с.20-21.

11. Б.М.Золотаревский, О.К.Токовой, Г.П.Вяткин, Р.Н.Галлямов, А.В.Хохлов, Н.В.Семкина. Исследование твердых электролитов на основе гинозема. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы производства и обработки стали", № 177, Челябинск, 1977, с.72-76.

12. Д.Я.Поволоцкий, О.К.Токовой, Р.Н.Галлямов, Р.А.Симсарьян, В.А.Старинец, Л.С.Бейтельман, Ю.Я.Беленский. Устройство для автоматической регистрации присадки сыпучих материалов в сталеплавильный агрегат. Авторское свидетельство СССР № 531040. "Открытия, Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1976, № 37, с.99.