

ISSN 0530-5749

Металлургическая и горнорудная ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Открытое акционерное
общество «Днепропетровский
металлургический завод
им. Петровского»

Министерство
образования и
науки Украины

Производственно-
хозяйственное объединение
«Металлургпром»

Национальная
металлургическая
академия Украины

Научно-техническое общество
металлургов Украины

XII Международная научно-техническая конференция

«ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
СТАЛЕПЛАВНЫХ ПРОЦЕССОВ»

Посвящается 50-летию отечественного кислородно-конвертерного производства



12-14 сентября 2006 года

2006

№ 7

обложкой расплава. Отдельные гранулы спекаются между собой только в точках контакта, что позволяет разрушить спек без использования дробильных установок. Он также отличается низким содержанием серы, отсутствием мелких фракций, ровным гранулометрическим и заданным химическим составом и наличием легкоплавких ферритов на поверхности гранул известняка.

Благодаря указанным преимуществам использование такого флюса позволит сократить время наведения шлака и увеличить производительность сталеплавильного агрегата.

Таким образом, предложенный способ позволяет получать шихтовые материалы различного назначения с высокой металлургической ценностью по единой технологии. Чтобы определить состав исходной шихты и технологические параметры для производства того или иного типа шихтовых материалов, необходимо задаться совокупностью свойств металлургической шихты, необходимой для конкретного металлургического процесса.

Библиографический список

Декларацийний патент на винахід № 58300 А. Комплексний спосіб виробництва шихтових матеріалів для металургійних процесів. Ефименко Г.Г., Нешадим В.Н., Цымбал М.И. и др. Бюл. № 7. - 2003.

УДК: 669.18

Смирнов А.Н. /д.т.н./, Салмаш И.Н., Ошовская Е.В. /к.т.н./, Яремко А.В.

Донецкий национальный технический университет

Изучение процессов перемешивания стали в ковше при помощи физического и математического моделирования

Перемешивание газом является важной частью процесса обработки стали в ковше. Основными задачами перемешивания является гомогенизация расплава по температуре и химическому составу, удаление неметаллических включений и защита от окисления. Для определения оптимальных параметров перемешивания необходимо проводить физическое и математическое моделирование. Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

Современная система технологий производства и разливки стали направлена на достижение высокого качества металлопродукции при минимизации затрат на ее осуществление. Наиболее важным элементом в этой системе является обработка (доводка) стали в ковше, предполагающая принудительное перемешивание металла с помощью инжектирования в жидкую ванну инертного газа. При этом операция продувки металла инертным газом обеспечивает определенную совокупность положительных эффектов: гомогенизацию металла по химическому составу и температуре, рафинирование металла путем удаления неметаллических включений, интенсификацию процессов растворения ферросплавов и десульфурации стали. Процессы продувки металла в ковше инертным газом достаточно хорошо изучены, что позволило широко использовать их на практике в качестве эффективного технологического приема. Теоретические аспекты продувки металла инертным газом в ковше изложены в многочисленных работах [1-3].

В настоящее время уже не возникает вопросов использовать или не использовать продувку стали аргоном в ковше при создании агрегатов для внепечной обработки. Современная техника пневматического перемешивания достаточно проста и надежна в обслуживании и эксплуатации. Разработанные и широко применяемые технологические варианты обеспечивают необходимый уровень мощности перемешивания и позволяют эффективно удалять продукты раскисления и шлаковые включения, а также интенсифицировать массообменные процессы между металлической и шлаковой фазами.

Однако разнообразие решаемых в процессе внепечной обработки технологических задач в совокупности с разнообразием геометрическими размерами ковшей и требованиями к длительности обработки обуславливает необходимость селективной оптимизации параметров продувки стали аргоном применительно к конкретным условиям заданного сталеплавильного цеха. В соответствии с основными технологическими задачами продувку

© Смирнов А.Н., Салмаш И.Н., Ошовская Е.В., Яремко А.В., 2006

стали инертным газом ведут на различных этапах пребывания стали в ковше с изменением интенсивности в широких пределах: от 50-100 до 600-800 л/мин, что предъявляет к продувочному узлу требование универсальности.

Между тем известные исследования относятся, главным образом, к изучению закономерностей продувки металла инертным газом через один продувочный узел и позволяют прогнозировать интенсивность перемешивания жидкой ванны и установить характер распределения пузырьков аргона в ее объеме.

На практике же обычно используется два продувочных узла (для больших ковшей – три), которые расположены в различных точках днища ковша. Фактически это в значительной степени влияет на развитие циркуляционных потоков в ковше, а также изменяет характер взаимодействия восходящих газометаллических потоков с расположенным на поверхности жидким шлаком. В связи с этим представляется крайне важной проблема определения рационального расположения продувочных узлов для агрегатов ковш-печь и оптимальных расходов инжектируемого аргона в зависимости от уровня решаемых задач.

Прямое определение рабочих параметров продувки в промышленных условиях крайне затруднено и поэтому для этих целей широко используются методы физического и математического моделирования. Физическое моделирование, как правило, применяют с целью визуальной оценки рационального расположения и количества продувочных устройств, а также характера гидродинамических процессов в системе, от которых в значительной мере зависит размер зоны контакта покровного шлака с футеровкой, а, следовательно, и скорости ее локального износа.

В настоящей работе для экспериментальных исследований с двумя и тремя продувочными узлами была использована объемная физическая модель. При этом для визуализации процессов перемешивания применялась также плоская модель. В качестве рабочих жидкостей использовалась вода (металл) и силиконовое масло (шлак), имеющее высокий показатель величины поверхностного натяжения. Геометрический масштаб физической модели составил 1:10 как прототип 100-т сталеразливочного ковша.

На рис. 1 приведены схемы физических моделей, на которых выполнялось измерение нескольких важных параметров: расход вдуваемого газа, интенсивность перемешивания жидкости в ковше, характер взаимодействия воды и масла при вдувании воздуха и пр. С целью визуального изучения особенностей распространения газовых и жидкостных потоков в ковше стенки ковша выполнены из прозрачного стекла, а процесс продувки фиксировался нами на видеокамеру. В ходе физического моделирования соблюдались критерии гидродинамического подобия Froude (Fr) и гомохронности (Ho).

Для сравнительной оценки интенсивности перемешивания жидкости в ковше использовался химический метод с измерением электропроводности воды. Методика измерения заключается в следующем. В разных точках ковша располагаются 2 одинаковых датчика, позволяющие фиксировать электропроводность воды в любой текущий момент времени. Датчик выполнен в виде двух платиновых электродов, через которые пропускается электрический ток. Эти датчики подключаются в измерительный процесс по мостовой схеме [4, 5]. При этом индикатор (концентрированный раствор соли) вводится в зоне расположения одного из датчиков, что выводит мостовую схему из равновесия. Момент восстановления равновесия, соответствующий выравниванию концентрации солевого раствора у обоих датчиков, соответствует времени гомогенизации всего объема жидкости (τ_g). Для оценки интенсивности перемешивания использовался индекс интенсивности перемешивания (I_g), который определяется как отношение времени гомогенизации для исследуемого режима продувки (τ_g^1) ко времени гомогенизации при вдувании эквивалентного расхода газа через фурму, расположенную в середине днища ковша (τ_g^0).

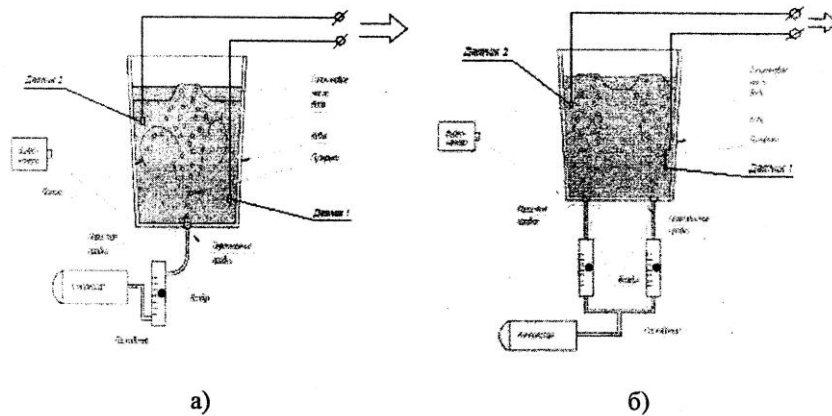


Рис. 1. Схемы лабораторных установок для физического моделирования:
а) с одной пробкой; б) с двумя пробками

Основной целью проведения исследований на плоской модели было установление качественных закономерностей перемешивания металла и шлака. В качестве факторов, влияющих на эффективность перемешивания, были выбраны величина расхода вдуваемого воздуха, количество продувочных узлов и вязкость имитируемого силиконовым маслом шлака. Изменение вязкости силиконового масла осуществлялась путем изменения температуры масла и шлака в диапазоне 12–45 °С. В ходе визуальных наблюдений установлено, что по характеру всплытия пузырьков вдуваемого воздуха в масло можно выделить следующие характерные схемы:

- при небольших расходах вдуваемого воздуха пузырьки газа проникают в масло в составе газожидкостной смеси, образуя небольшое пятно в виде круга на поверхности шлака (рис. 2, а-г); размеры этого пятна зависят от расхода силиконового масла и величины расхода вдуваемого воздуха; при этом процесс перемешивания металла со шлаком происходит за счет проникновения капель металла в шлак;

- при увеличении расхода вдуваемого воздуха на поверхности шлака образуется большое пятно от всплывающей газожидкостной смеси; при этом формируются нисходящие потоки металла, которые стекают в ковш вдоль боковой границы шлак-металл (рис. 2, д-з); при определенных условиях (низкой вязкости шлака) эти потоки попадают в объем металла крупные капли шлака.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что в зависимости от расхода вдуваемого воздуха и вязкости шлака перемешивание металла со шлаком может осуществляться принципиально по разным гидродинамическим схемам: при малых расходах – капли металла проникают в слой шлака, а при больших – капли металла вовлекаются в объем металла.

В случае использования для перемешивания двух продувочных узлов происходит изменение характера движения циркуляционных потоков металла.

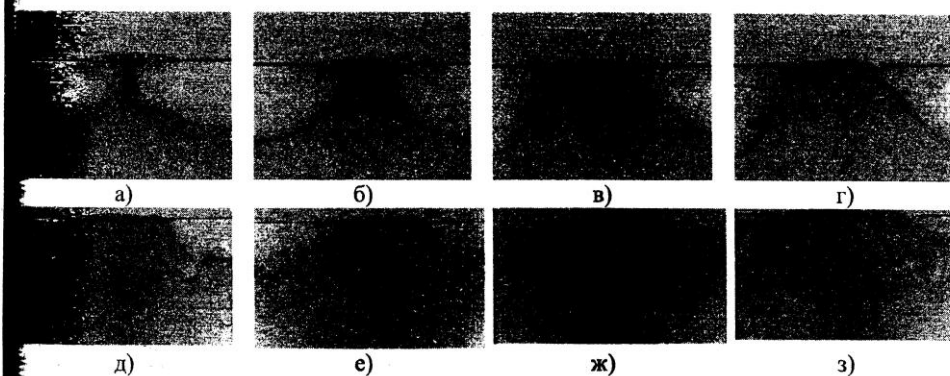


Рис. 2. Картины образования пятна на поверхности шлака при продувке через одну пробку

Основные различия в характере движения потоков заключаются в том, что два восходящих потока могут либо соединиться, образуя единую систему, либо расколоться, образуя две циркуляционные системы. На рис. 3 приведена типичная картина распределения гидродинамических потоков в ковше. Дополнительно следует отметить, что существенные изменения в характере движения циркуляционных потоков, а также перемешивания металла и шлака могут быть достигнуты при варьировании расхода воздуха в одном из продувочных узлов.

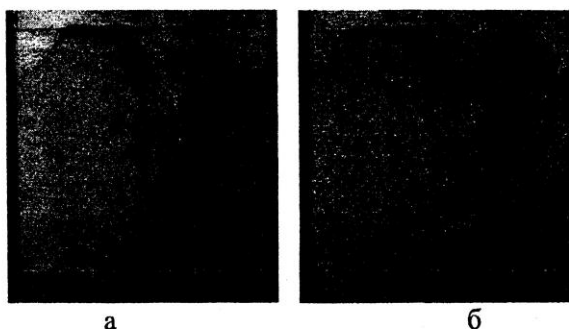


Рис. 3. Картины движения потоков при продувке через два отверстия

Целью физического моделирования на объемной модели было оценка влияния основных технологических параметров продувки металла аргоном на интенсивность перемешивания. В ходе исследований варьировали положение продувочного узла в днище ковша, величину расхода вдуваемого воздуха, число продувочных узлов (один, два). При установке двух продувочных узлов исследовали влияние их расположения на интенсивность перемешивания жидкости в ковше. Установлено, что максимальная интенсивность перемешивания достигается при угле между осями продувочных узлов на уровне 120-150° ($I_p = 0,65-0,70$). В соответствии с выполненными наблюдениями при небольшом угле между пробками (менее 60°) наблюдается тенденция слияния двух восходящих потоков в один, а при большом угле – каждый восходящий поток (от продувочного узла) поднимается независимо друг от друга. Это способствует более интенсивному перемешиванию жидкости в ковше, поскольку формируется дополнительная зона циркуляционных потоков.

В ходе экспериментов также установлено, что при определенных режимах попеременного включения и выключения продувочных узлов появляется дополнительная возможность активного влияния на характер гидродинамических процессов, протекающих в перемешиваемой ванне. Тем самым подтверждено, что, задавая определенную интенсивность продувки и цикличность работы различных продувочных узлов, удастся обеспечить направленность циркуляции потоков жидкого металла. В качестве примера на рис.4 приведены фотографии, иллюстрирующие картину изменения расположения шлака на зеркале жидкости во время моделирования процесса продувки стали в ковше с использованием нескольких продувочных пробок, подача газа к которым осуществлялась в определенной последовательности и с заданной интенсивностью, обеспечивающей закручивание восходящих жидкостных потоков. Наблюдаемое вращение слоя шлака относительно поверхности зеркала металла в целом может способствовать повышению эффективности рафинирующей обработки металла в ковше.

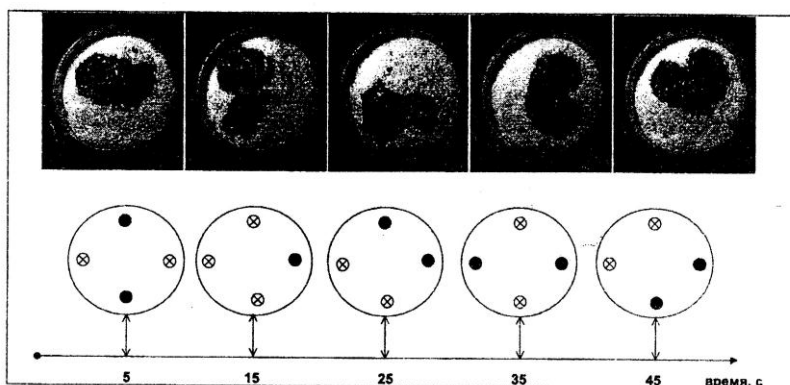


Рис. 4. Динамика изменения положения шлака на поверхности жидкости в ковше при продувке ванны через несколько продувочных узлов, работающих поочередно: ⊗ – включенная пробка, ● – выключенная пробка

Для подтверждения закономерностей, выявленных на этапе физических экспериментов, было проведено математическое моделирование, основной целью которого являлось численное моделирование картин и характеристик движения газожидкостных потоков, возникающих при продувке инертным газом жидкой стали в ковше установке ковш–печь. Исследование выполнено на математической модели, разработанной с использованием прикладного пакета ANSYS (модуль FLOTRAN), реализующего метод конечных элементов. Расчет выполнен для сталеразливочного ковша вместимостью 100 тонн. Объемный расход вдуваемого газа через одно отверстие принят 0,4-0,5 м³/мин при диаметре продувочного отверстия 100 мм. Начальная температура жидкого металла равняется 1620 °С, а температура расплава на границе со стенками и дном ковша – 1500 °С. Процесс продувки длится 600 с, при этом температура расплава на границе со шлаком поддерживается постоянной на уровне 1660 °С за счет дополнительного подогрева. Математическая модель учитывала также явления теплопередачи между расплавом и футеровкой ковша, и между расплавом и шлаком. Конечно-элементная модель жидкого расплава с приложением начальных и граничных условий состояла в среднем из 620 элементов.

На рис. 5, а, б представлены картины скоростей потоков при моделировании продувки через одно отверстие, размещение отверстия относительно оси ковша варьировалось в диапазоне $\rho=0 \dots 1,05$ м.

Библиографический список

1. O.J.Ilegbusi, J.Szekely, M.Igushi e.a. "A Comparison of Experimentally Measured and Theoretically Calculated Velocity Fields in a Water Model of an Argon Stirred Ladle", ISIJ International, Vol.23 (1993). - No.4. - P. 474-478.
2. J.W.Han, S.H.Heo, D.H.Kam e.a. "Transient Fluid Flow Phenomena in Gas Stirred Liquid Bath with Top Oil Layer - Approach by Numerical Simulation and Water Model Experiments", ISIJ International, Vol.41 (2001) - No.10. - P. 1165-1173.
3. F.Schaub, W.Pluschke. "Turbulent Enhancement of Mass Transfer in Bubble Plumes". 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, Prague, Czech Republic, 2004.
4. R.S.Figliola, D.E.Beasley. "Theory and Design for Mechanical Measurements", 4th Ed., John Wiley & Sons, New York, 2005, 560 p.
5. Ефименко С.П., Пилошенко В.Л., Смирнов А.Н. Пульсационное перемешивание металлургических расплавов. -М.: Металлургия, 1989. - 168 с.

УДК 669.184.244.66

Семыкина Т.С., Семыкин С.И. /к.т.н./, Поляков В.Ф. /д.т.н./,
Семыкина Е.В., Тогобицкая Д.Н. /д.т.н./
ИЧМ НАН Украины

Особенности межфазного распределения элементов при конвертерной плавке с использованием низковольтных потенциалов

Изучены условия межфазного распределения серы и фосфора при конвертерной плавке, в том числе с использованием низковольтных потенциалов. Ил. 2. Табл. 1.

Необходимость улучшения эксплуатационных характеристик сталей с появлением новых областей их применения повышает требования к потребительским свойствам материалов, которые определяются главным образом качеством структуры и химическим составом. Большую роль при этом играет степень очистки стали от нежелательных примесей, вносимых шихтовыми материалами, основными из которых являются сера и фосфор.

Наибольший объем выплавляемой стали приходится на конвертерное производство, в основе которого лежат окислительные обменные процессы между взаимодействующими металлической, шлаковой и газовой средами. При этом показателем эффективности процессов межфазного взаимодействия могут выступать коэффициенты распределения.

Для изучения закономерностей распределения элементов был проанализирован массив экспериментальных данных, полученных в 60-х промышленных конвертерах завода им. Петровского, как с обычным вариантом ведения рафинировочного процесса, так и с применением электрических воздействий малой удельной мощности, позволяющих интенсифицировать физико-химические, теплофизические и гидродинамические процессы, сопровождающие выплавку металла.

При изучении природы процессов, сопровождающих конвертирование, были применены методики: физико-химического моделирования, прикладной статистики и структурного анализа на основе тройных диаграмм плавкости. Акцент в данном исследовании был сделан на изучение влияния изменения зарядового состояния серы и фосфора при переходе их из металла в шлак на коэффициент распределения примесей между фазами. В результате было отмечено, что для оптимизации процессов рафинирования от примесей необходимы знания не только их химической, но и зарядовой сущности, т.е. следует учитывать характер перераспределения заряженных частиц между шлаком и металлом. Проведенный анализ показывает, что во-первых, при обычном конвертерном процессе высокий уровень очистки металла возможен с ростом величины перезарядки удаляемой примеси между реагирующими фазами. Во - вторых, исходя из электрохимической природы окисления компонентов металла (рис. 1), следует, что подвод к системе металл - шлак положительного или отрицательного потенциала противоположно влияет на глубину и ход процесса удаления различных примесей.

© Семыкина Т.С., Семыкин С.И., Поляков В.Ф., Семыкина Е.В., Тогобицкая Д.Н., 2006