

УДК 669

Ромачнук Я. А.,
Горчаков А. Р.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛА СО ШЛАКОМ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША

Приведены результаты экспериментальных исследований физического моделирования процесса перемешивания металла со шлаком в ходе продувки металла. Получена зависимость изменения площади раскрытия зеркала металла от расхода моделируемого газа.

Ключевые слова: шлак, сталь, физическая модель, агрегат «ковш-печь», окисление, инертный газ.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Современные технологии производства стали предполагают выполнение части технологических операций по доводке жидкого металла по химическому составу и температуре непосредственно в сталеразливочном ковше.

В настоящее время одним из перспективных направлений в технологической цепи получения высококачественной стали является использование агрегата «ковш-печь», что приводит к снижению себестоимости получаемой стали и повышению ее качества.

Одной из проблем внепечной обработки стали является раскрытие зеркала металла при продувке инертными газами. При раскрытии зеркала металла жидкая сталь вступает в реакцию с кислородом атмосферы, что приводит к образованию оксидов железа, понижению качества стали по загрязненности неметаллическими включениями, снижению процента выхода годной стали.

Постановка задачи. Разработка эффективных решений для совершенствования процесса внепечной обработки стали при продувке инертными газами.

Изложение материала и его результаты. Известно, что при вдувании инертного газа в жидкую ванну ковша пузырьки газа поднимаются в потоке газожидкостной смеси, которая образует приподнятую область, или так называемый «глаз», на поверхности расплава. Восходящий поток смеси газа и металла частично отражается от поверхно-

сти и отодвигает шлаковый слой к периферии зеркала ковша. Если шлаковый слой достаточно тонкий, данный процесс приводит к образованию оголенной области жидкого металла, подверженной атмосферному воздействию. Необходимо отметить, что процесс образования «глаза» достаточно недавно стал предметом серьезных исследований. При этом до настоящего времени в литературе не представлены исследования о поведении шлака в зоне выхода газовой струи при различном положении продувочного блока в днище, а также сравнительные исследования при продувке через один и два продувочных блока.

Динамика перемешивания металла со шлаком в процессе его продувки аргоном представляется крайне важным технологическим этапом, определяющим выбор критериев оптимизации параметров продувки для различных стадий внепечной обработки. Достаточно очевидно, что интенсивность перемешивания зависит от расхода вдуваемого аргона, а также от количества продувочных узлов. Вместе с тем повышение расхода вдуваемого газа приводит к интенсификации разбрызгивания металла на границе шлак-металл и, как следствие, к его интенсивному вторичному окислению. Кроме того, интенсивное движение циркуляционных потоков вдоль стенок ковша может приводить к повышенному износу рабочего слоя футеровки.

Физическое моделирование [1] осуществлялось на модели, показанной на рисунке 1.



Рисунок 1 Физическая модель сталеразливочного ковша

Конструкция модели позволяла изменять количество продувочных узлов (один или два) и их положение в днище. Положение двух продувочных узлов в днище ковша определялось углом, который измерялся в горизонтальной плоскости относительно вертикальной оси ковша. С учётом специфики работы агрегата «ковш-печь», заключающейся в расположении трех электродов в центральной части зеркала шлака, для исследований были выбраны углы в 100° как наиболее характерные [2]. В качестве жидкостей, моделирующих расплав стали и шлака, применяли соответственно воду и машинное масло, имеющие различную вязкость при разной температуре. Для продувки использовали сжатый воздух.

Для удобства визуализации происходящих процессов вода подкрашивалась цветными чернилами. Продувка осуществлялась через две продувочные пробки, установленные на разном расстоянии от центра ковша по конструкции сталеразливочного ковша емкостью 300 т, который при-

меняется на современных металлургических предприятиях. Расход газа варьировался от 0,1 до 0,8 л/мин.

Выбор машинного масла для имитации шлака на поверхности металла объясняется определенной совокупностью свойств масла, в т. ч. его диспергированием при контакте с водой. В частности, машинное масло обеспечивает низкое межфазное натяжение между ним и водой, что соответствует поведению жидкого шлака на поверхности стали.

При сравнительно небольшом расходе вдуваемого воздуха (0,20 л/мин), соответствующем удельному расходу энергии на уровне $\varepsilon = 0,8\text{--}0,9$ Вт/т, установлено следующее. В начальный момент времени (сразу после старта продувки) образуется узкая газожидкостная струя, состоящая из мелких пузырьков преимущественно сферической формы, которые, достигая границы раздела вода-масло, увлекают за собой жидкость и образуют в слое масла небольшой конус, а часть пузырьков выходит на поверхность раздела жидкой фазы.

Далее по ходу продувки струя газожидкостного потока расширяется, число небольших пузырьков в ней растет, при этом увеличивается и размер конуса жидкости в слое масла. В результате на поверхности масла происходит выход большего числа пузырьков и образуется пятно (рис. 2).

Затем при дальнейшей продувке число пузырьков, достигающих поверхности, увеличивается, они становятся больше по размерам, и пятно увеличивается в размерах как показано на рисунке 3.

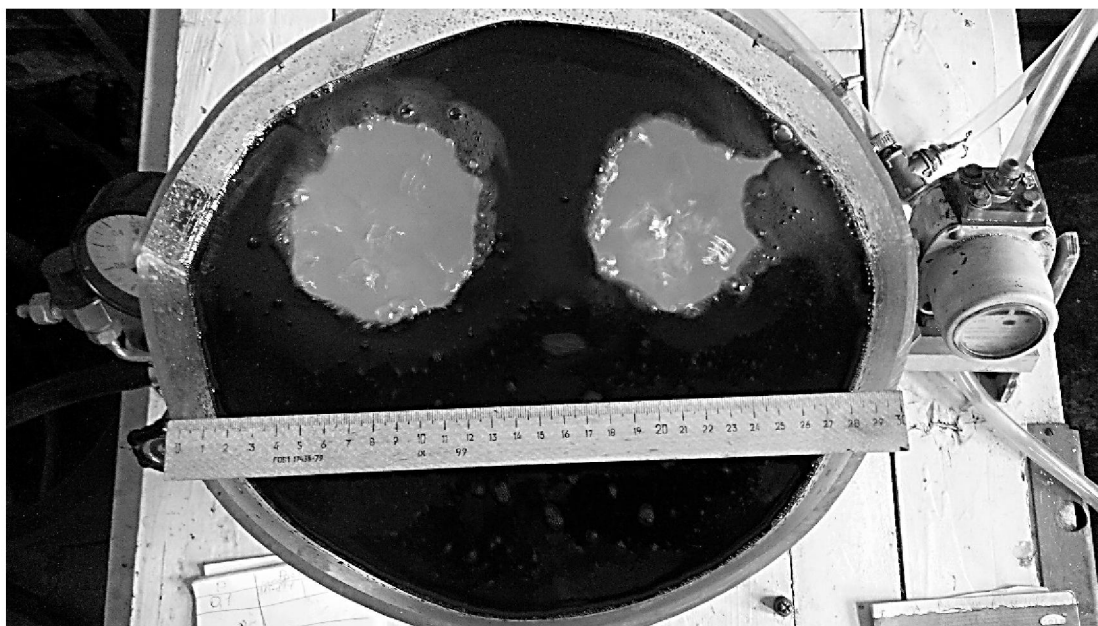


Рисунок 2 Образование пятна раскрытия зеркала металла

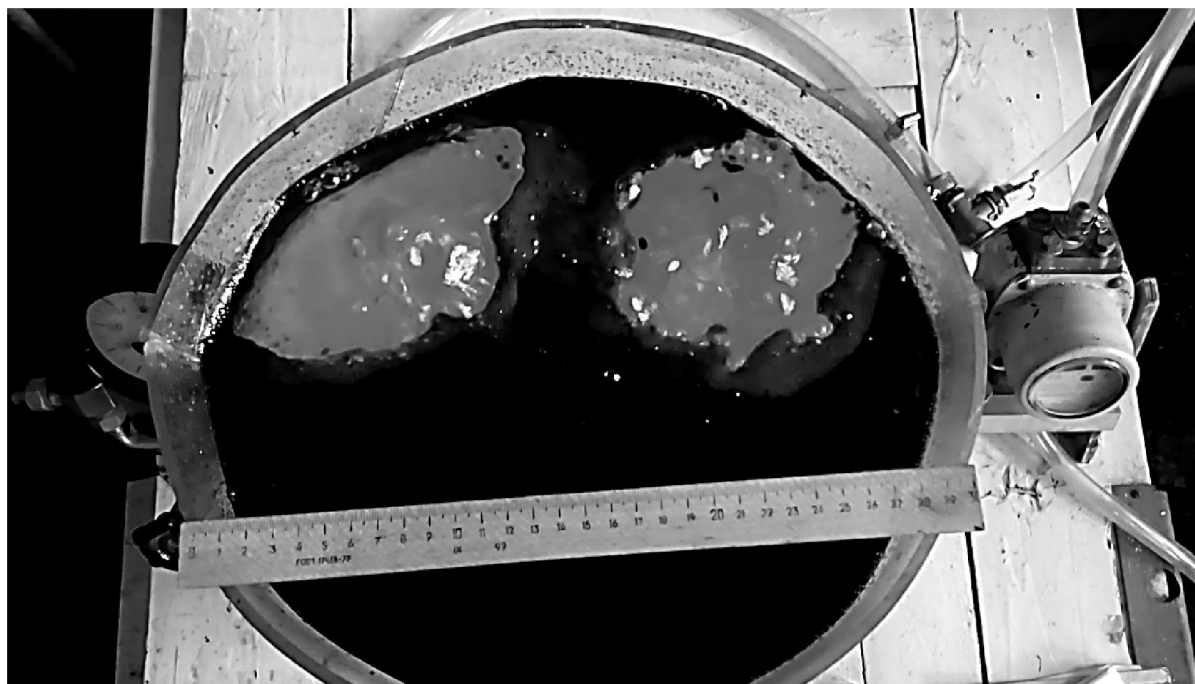


Рисунок 3 Увеличение пятна раскрытия зеркала металла

Далее большие пузырьки на поверхности начинают лопаться, образуя более мелкие, а к ним присоединяются пузырьки, вновь доставляемые газожидкостным потоком. Тем самым количество пузырьков, образующих пятно на поверхности масла, растет, расширяя его размеры. Соответственно, это способствует развитию газлифтного эффекта, что приводит к увеличению доли воды в слое масла.

По ходу продувки это явление усиливается, в результате чего в слое масла образуются малоскоростные горизонтально направленные потоки, расходящиеся к стенкам сосуда и увлекающие с собой некоторую часть газовых пузырьков [3].

При увеличении расхода вдвухаемого газа (0,4–0,8 л/мин) описанные выше процессы протекают более интенсивно, а образующийся жидкостный конус имеет изначально больший размер. Характерной особенностью продувки жидкости газом следует отметить разбрызгивание ее некоторой части, которая вылетает за пределы слоя масла. Периферийные расходящиеся газожидкостные потоки, проникая в слой масла, перемещаются горизонтально к стенкам сосуда, а затем направляются вниз к границе раздела вода-масло, где увлекают за собой порцию масла, которая внедряется в водный объем как показано на рисунке 4.

Такое сильное вовлечение в перемешивание масла, имитирующего шлак, видимо, следует объяснять высокой скоростью

движения потоков жидкости в подобласти, расположенной вблизи пятна, то есть при движении потоков жидкости происходит отрыв некоторых объемов масла и вовлечение их в объем воды.

Движущиеся слои жидкостей на границе раздела отрывают захваченную порцию масла, и она увлекается газожидкостным потоком внутрь воды к центру основной восходящей струи, при этом от нее могут отделяться более мелкие порции, а за ней следуют порции масла, чуть позже захваченные потоком. В результате в сосуде образуется зона циркуляции, состоящая из смеси воды, пузырьков воздуха и масла. При продувке через два продувочных узла оголение «металла» в зоне выхода вдвухаемого газа происходило при расходе газа 0,1 л/мин. Объединение зон выхода газа в одно общее пятно наблюдали при продувке с расходом 0,3–0,6 л/мин. В остальных случаях на поверхности масла образовывались две отдельно расположенных зоны выхода газа.

Ширина пятна L_n (мм) в зависимости от расхода воздуха v (л/мин) адекватно (коэффициент парной корреляции 0,95) описывается следующим уравнением линейной регрессии:

$$L_n = -5,99 + 230,45 v.$$

На рисунке 5 представлены этапы формирования пятен оголенного «металла» при продувке.

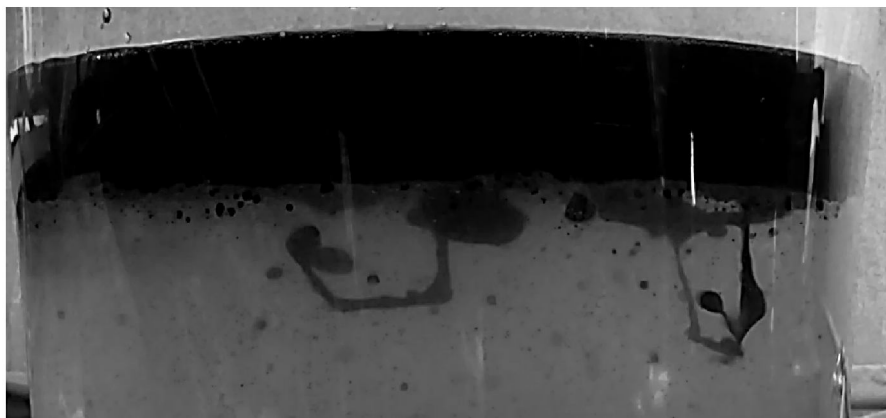


Рисунок 4 Увлечение порции моделирующего шлака в газожидкостный поток

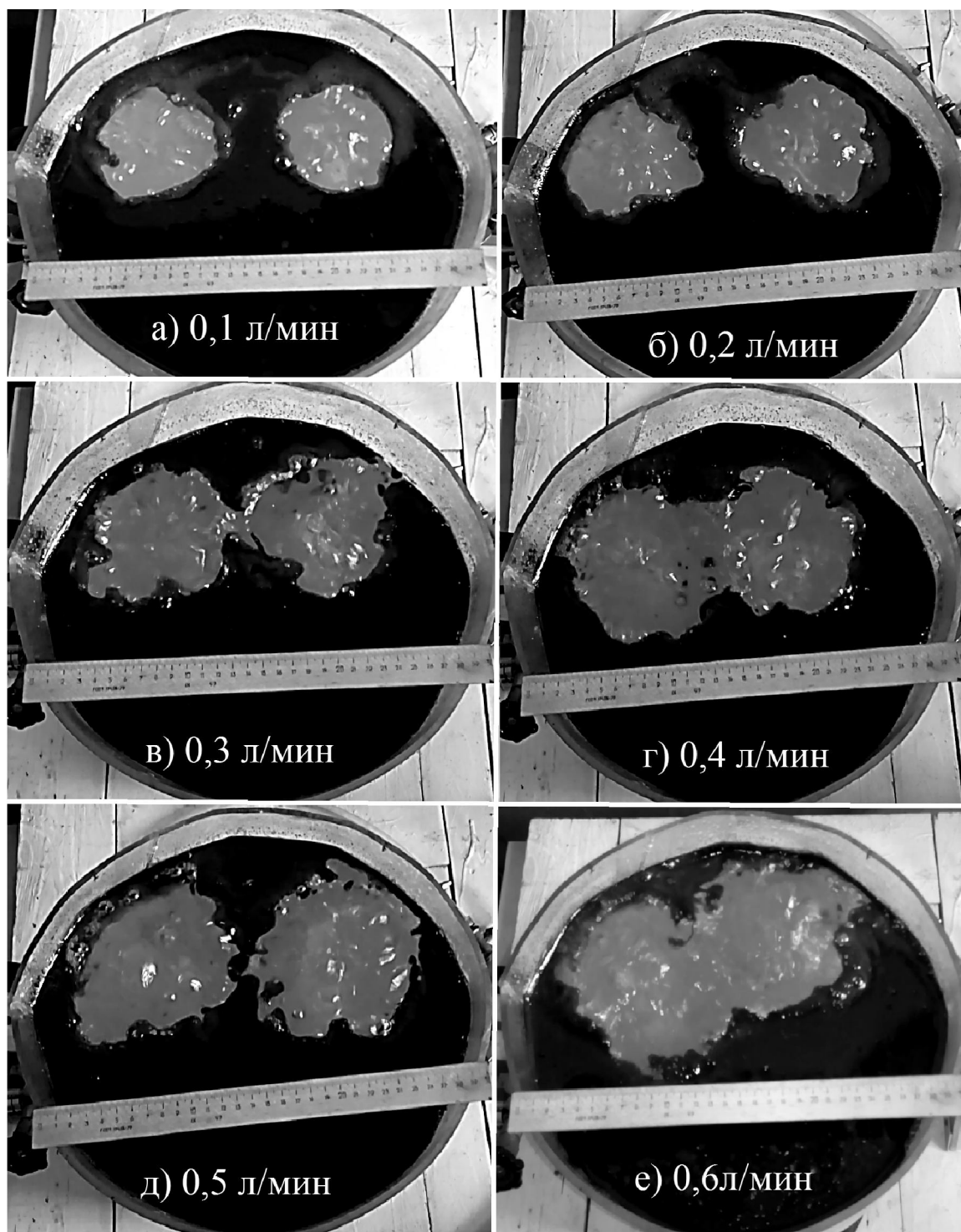


Рисунок 5 Этапы формирования пятен оголенного «металла» при продувке жидкой ванны через два продувочных узла с расходом газа от 0,1 до 0,6 л/мин.

При прохождении циркуляционного потока вдоль зеркала жидкости в ковше большая часть (примерно 92–95%) нахо-

дящихся в нем газовых пузырьков всплывает на поверхность, образуя в этом месте разрыв шлакового покрытия. Так, когда

газожидкостная струя находится на небольшом расстоянии от поверхности «металла», она расширяется, двигаясь преимущественно вверх. Этот динамично изменяющийся поток смещает верхний слой «шлака» к стенкам сосуда, тем самым

формируя зону выхода газа. В случае если восходящая струя имеет достаточно высокий энергетический потенциал, она поднимает струю «металла» выше уровня «шлака».

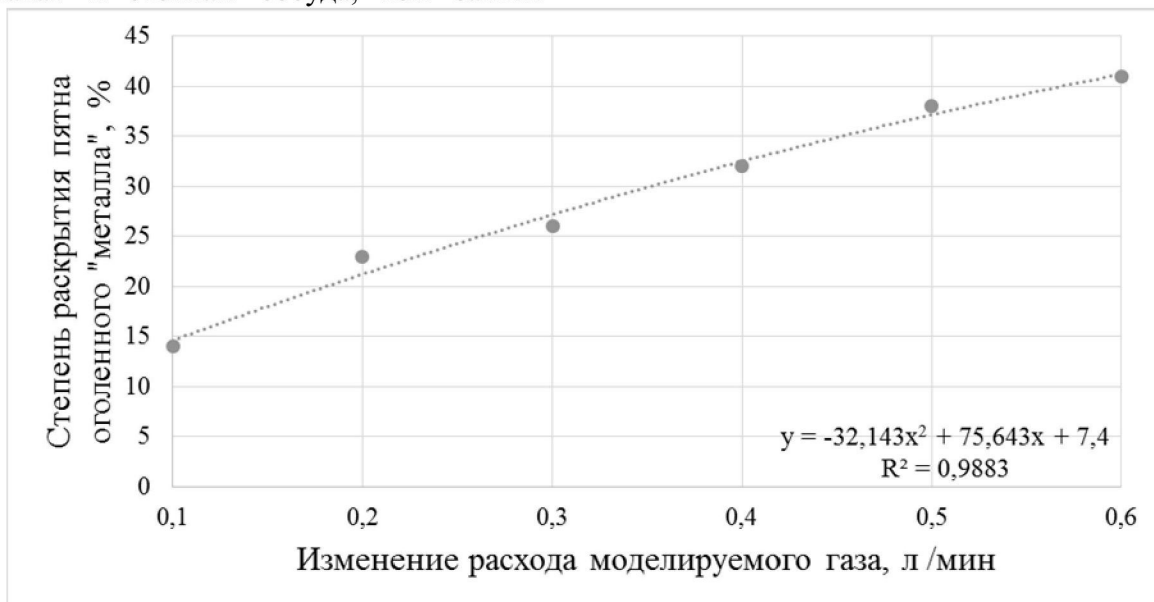


Рисунок 6 Изменение площади оголения зеркала «металла» в зависимости от расхода моделируемого газа

Полученные изображения зоны оголения зеркала металла обрабатывались на компьютере с помощью специализированного графического редактора, позволяющего рассчитать площадь оголенной части «металла». На основании полученных данных строим диаграмму и выводим уравнение изменения площади оголения зеркала «металла» в зависимости от расхода моделируемого газа (рис. 6).

Выводы.

В ходе исследований, выполненных на холодной физической модели, установлено, что вдувание инертного газа в металл оказывает существенное влияние на поведение шлакового слоя, что находится в прямой взаимосвязи с динамикой вторичного окисления стали и вовлечения шлаковой фазы в металлическую ванну. Количественная оценка захвата частиц шлака металлом в условиях физического моделирования представляется достаточно про-

блематичной, потому что следует выполнять оценку распределения частиц, имеющих размеры, не превышающие 50–100 мкм, поскольку более крупные частицы достаточно легко удаляются из расплава в ходе моделирования. Использование в ковше двух продувочных устройств, расположенных на определенном удалении друг от друга, приводит в движение части шлака у стенки ковша, что может служить причиной повышенного износа огнеупоров в зоне шлакового пояса. Вместе с тем наличие двух продувочных фурм способствует увеличению вероятности захвата частиц шлака металлом и перемещения их вглубь металла в ковше. Это явление обусловливается интенсивным перемешиванием области жидкости, расположенной между продувочными узлами.

Библиографический список

1. Федоров, В. В. Теория оптимального эксперимента (планирование регрессионных экспериментов) [Текст] / В. В. Федоров. — М. : Наука, 1971. — 211 с.
2. Гизатулин, Р. А. Внепечные и ковшовые процессы обработки стали: [Текст] : монография / Р. А. Гизатулин. — Новокузнецк : СибГИУ, 2007. — 260 с.
3. Кравченко, В. М. Исследование перемешивания расплава инертным газом в сталеразливочных ковшах большей емкости [Текст] / В. М. Кравченко, Я. А. Романчук // Сборник научных работ студентов ДонГТУ. — 2011. — Вып. 4 (ч.1). — С. 45–51.
4. Еронько, С. П. Физическое моделирование внепечной обработки и разлива стали [Текст] / С. П. Еронько, С. В. Быковский — М. : Техника , 1998. —136 с.
5. Марков, Б. Л. Физическое моделирование металлургии [Текст] / Б. Л. Марков, А. А. Курсанов. — М. : Металлургия, 1998. — 117с.

© Ромачук Я. А.

© Горчаков А. Р.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,
нач. техн. бюро ККЦ ПАО «АМК» Бабицем А. С.*

Статья поступила в редакцию 21.11.16.

Романчук Я. О., Горчаков А. Р. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ ЗІ ШЛАКОМ НА ФІЗИЧНІЙ МОДЕЛІ СТАЛЕРОЗЛИВНОГО КОВША

Наведено результати експериментальних досліджень фізичного моделювання процесу перемішування металу зі шлаком в ході продувки металу. Отримано залежність зміни площі розкриття дзеркала металу від витрати модельованого газу.

Ключові слова: шлак, сталь, фізична модель, агрегат «ківш-піч», окислення, інертний газ.

Romanchuk Ya. A., Gorchakov A. R. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INVESTIGATION OF MIXING PROCESS FOR METAL AND SINTER USING A PHYSICAL MODEL OF CASTING LADLE

The results are presented of test investigation of physical modelling the mixing process for metal and sinter at blowing. The dependence for changing the bath level opening area proportions on the rate of modeling gas consumption is obtained.

Key words: sinter, steel, physical model, ladle-furnace aggregate, oxidation, inert gas.