

УДК 669.18-412: 621.746.6

А.Н. Смирнов, С.Г. Жемеров, Е.В. Штепан

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРНОГО СЛОЯ ПРИ ПРОДУВКЕ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

Приведены результаты физического моделирования процесса износа огнеупорного слоя в сталеразливочном ковше при продувке через один или два продувочных узла, в частности, исследовано влияние расхода вдуваемого газа, а также количества и расположения продувочных узлов на поведение износа футеровки.

Ключевые слова: физическое моделирование, внепечная обработка, сталеразливочный ковш, силиконовое масло, огнеупоры

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Одной из основных задач, которые решаются в металлургической промышленности, является повышение эффективности эксплуатации сталеплавильного оборудования и снижение материальных и капитальных затрат при производстве металла. В связи с этим, исследование особенностей эксплуатации огнеупорных материалов установки «ковш-печь» является достаточно актуальной проблемой современного сталеплавильного производства.

### Анализ исследований по проблеме и постановка задачи

В процессе выплавки стали огнеупорный слой в сталеразливочном ковше постепенно изнашивается. В большинстве случаев характер износа неравномерный – некоторые зоны футеровки изнашиваются быстрее, чем остальные [1]. Например, при наливе стали в ковш сильно изнашивается днище ковша, потому в месте удара струи обычно кладут огнеупорную плиту из более прочных материалов. Также большому износу подвержена футеровка в районе шлакового пояса. Это обуславливается тем, что шлак в силу своего химического состава активнее реагирует с оксидами футеровки, что приводит к более интенсивному ее износу [2]. Также немаловажным фактором при обработке металла на агрегате «ковш-печь» является нагрев стали электродами. А поскольку электроды греют непосредственно сам шлак, а не сталь, то шлак всегда находится в более нагретом состоянии, чем сталь, и футеровка в этом месте изнашивается значительно сильнее. Последствием разрушения футеровки может стать прогар кожуха, а как следствие потеря всего металла, находящегося в ковше [3]. Поэтому шлаковый пояс, как и «бойное место» следует выкладывать из более стойких огнеупоров. Как следствие футеровка перестает быть единым целым, и превращается в зонную [4].

Характер износа футеровки также очень сильно зависит от расположения продувочных узлов в днище ковша. К примеру, при расположении

продувочной пробки близко к стенке ковша (приблизительно 0,9 радиуса ковша) огнеупорный слой будет довольно сильно изнашиваться. Поэтому при выборе расположения пробок в днище ковша следует учитывать не только такие факторы, как усреднение химического состава стали, подачу легирующих через «зеркало» металла, но и износ футеровки.

### Изложение материала и результаты

Для моделирования износа футеровки на физической модели ковша в конкретном случае использовалась плоская модель с продувочными пробками в днище, объемная модель ковша в масштабе с продувочными узлами в днище с возможностью менять положение пробок. В качестве заменителя огнеупоров использовался материал на основе желе, который выкладывались в ряд снизу вверх, в качестве заменителя жидкой стали – вода, а шлак заменялся силиконовым маслом. Физические свойства моделирующих жидкостей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физические свойства моделирующих жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Вязкость, Па·с
Вода	1000	0,001
Силиконовое масло	935	0,1-0,5 (в зависимости от температуры)

Установка для моделирования износа футеровки представляет плоскую модель с выложенными двумя рядами «огнеупоров» и налитым силиконовым маслом (рис. 1). Для удобства экспериментов модель сделана разборной.

Проводился ряд опытов с разным расположением пробок, их количеством (одна или две), а также с разной высотой налива. В одном случае отношение высоты к диаметру ( $H/D$ ) составляло 1, во втором случае – 1,2.

Для первого случая с одной пробкой она располагалась: 1) по центру, 2) на 0,4 радиуса, 3) на 0,7 радиуса 4) и 0,9 радиуса. Для двух пробок расположение было следующим: 1) две пробки на 0,4 радиуса; 2) две пробки на 0,7 радиуса; 3) одна пробка по центру, вторая – на 0,4 радиуса; 4) одна пробка по центру, вторая – на 0,7 радиуса. Те же расположения пробок сохраняются и для второго случая с отношением  $H/D=1,2$ .

Результаты первых двух серий опытов (с отношением  $H/D = 1$  и  $H/D=1,2$ ) представлены в таблице 2, в которой описан характер износа футеровки.



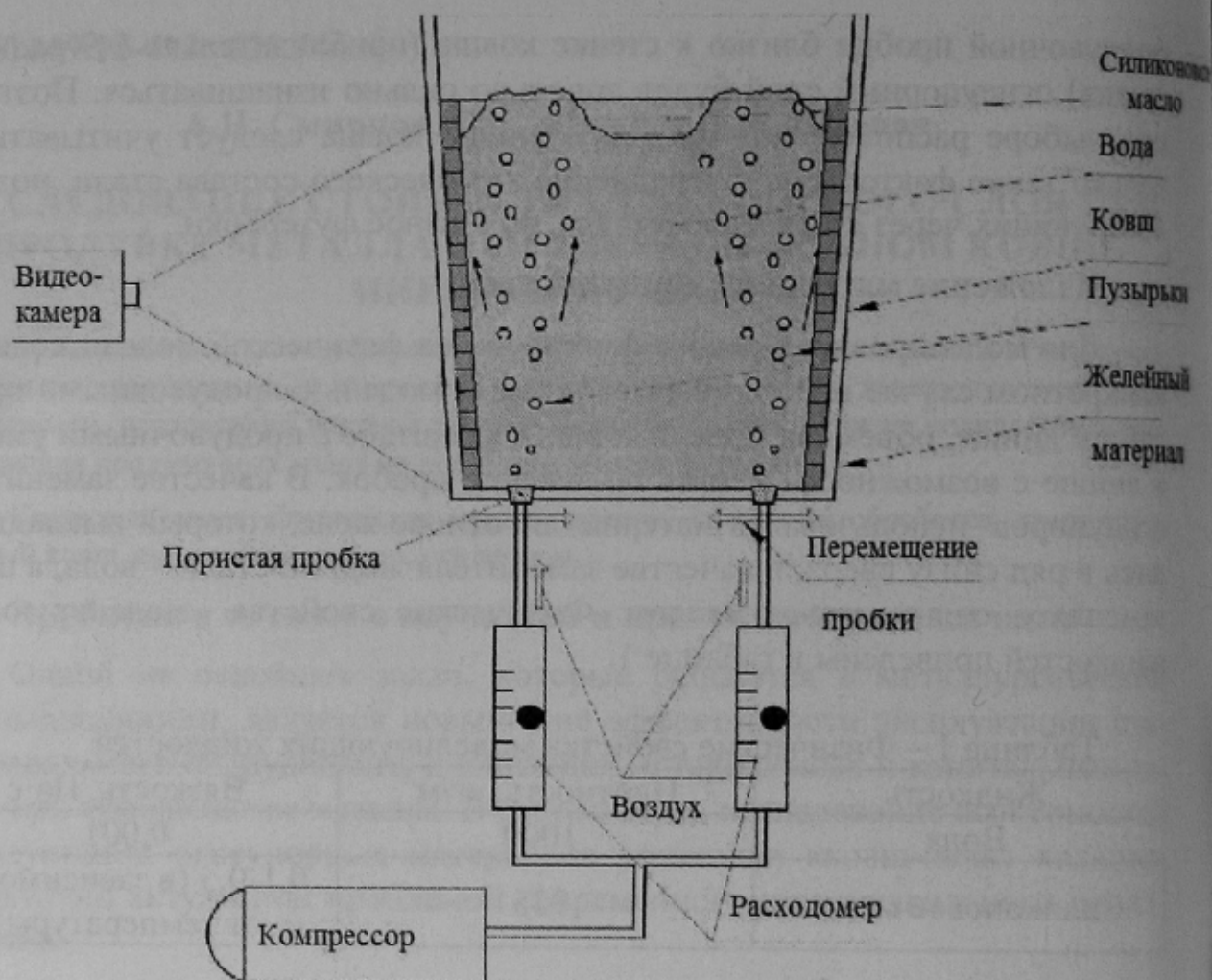


Рисунок 1 – Общий вид установки для моделирования процесса износа футеровки

Анализируя таблицу 2 можно сделать несколько выводов. При высоте налива  $1,2 H/D$  износ футеровки практически во всех случаях несколько больше, чем при наливке  $1H/D$ . При расположении двух пробок одна по центру, вторая на  $0,4$  радиуса наблюдается несколько больший износ футеровки на уровне шлакового пояса, чем при расположении одной пробки по центру, а второй на  $0,7$  радиуса. Из этого следует, что вариант с расположением второй пробки на  $0,7$  радиуса предпочтительней, поскольку износ равномерный и не носит локальный характер. При продувке одной пробкой по центру также наблюдается сильный износ со стороны шлакового пояса, в то же время при расположении пробки на  $0,4$  радиуса изнашивается шлаковый пояс и противоположная стенка от пробки. Это объясняется направлением потока, который создается при продувке. При расположении пробки на  $0,7$  радиуса наблюдается равномерный износ стенки, а при расположении пробки на  $0,9$  радиуса наблюдается уже сильный износ футеровки возле пробки. Следовательно, можно считать, что расположение пробки на  $0,9$  радиуса не слишком удачно, и предпочтительнее размещать пробку на  $0,7$  радиуса.

Таблица 2 – Характер износа футеровки в зависимости от расположения пробок и высоты налива

Отношение высоты к диаметру	Положение пробки	Количество пробок	Описание
1.2	центр	1	На уровне шлакового пояса
1.2	0,4R	1	На уровне шлакового пояса со стороны пробки с противоположной стенки посередине
1.2	0,7R	1	Равномерный износ по всей длине стенки со стороны пробки
1.2	0,9R	1	Износ со стороны пробки внизу
1.0	центр	1	На уровне шлакового пояса
1.0	0,4R	1	На уровне шлакового пояса со стороны пробки с противоположной стенки посередине
1.0	0,7R	1	Равномерный износ по всей длине стенки со стороны пробки
1.0	0,9R	1	Со стороны пробки внизу
1.2	1пробка-0.4R 2пробка-0.4R	2	Равномерный износ с двух сторон на уровне шлакового пояса
1.2	1пробка-0.7R 2пробка-0.7R	2	Равномерный износ по всей длине стенок с двух сторон, но на уровне шлакового пояса немного больше
1.2	1пробка-центр 2пробка-0.4R	2	Износ с противоположной стороны от пробки на уровне шлакового пояса
1.2	1пробка-центр. 2пробка-0.7R	2	Износ с противоположной стороны от пробки по всей длине стенки
1.0	1пробка-0.4R 2пробка-0.4R	2	Равномерный износ с двух сторон на уровне шлакового пояса
1.0	1пробка-0.7R 2пробка-0.7R	2	Равномерный износ по всей длине стенок с двух сторон, но на уровне шлакового пояса немного больше
1.0	1пробка-центр 2пробка-0.4 R	2	Износ с противоположной стороны от пробки на уровне шлакового пояса
1.0	1пробка-центр 2пробка-0.7R	2	Износ с противоположной стороны от пробки по всей длине стенки

В целом разная высота налива приводит к тому, что чем выше высота налива, тем быстрее изнашивается футеровка, характер износа в целом не слишком отличается.

Следующая серия опытов проводилась на той же плоской модели, но с силиконовым маслом, имитирующим шлак. Причем масло подогревалось до более высокой температуры, чем вода. Это делалось для более полной имитации процесса внепечной обработки на агрегате «ковш – печь», поскольку в процессе нагрева стали шлак нагревается сильнее, чем сталь. Небольшое отличие заключалось также в том, что в этой серии опытов использовалась только одна пробка в двух расположениях: 0,5 радиуса и 0,8 радиуса. Анализируя опыты, можно сказать, что при положении пробки на



0,5 радиуса размыв стенки, ближней к пробке происходит неравномерно. Размывание начинается в середине и увеличивается к шлаковому поясу. На противоположной стенке от пробки также очень быстро образуется характерная промоина в верхней части стенки (от центра и к шлаковому поясу). При положении пробки на 0,8 радиуса характер износа другой. Стенка со стороны пробки размывается незначительно по всей поверхности, нет характерных промоин, что характерно видно на рис. 2.



Рисунок 2 – Размыв стенки при положении пробки 0,5 радиуса и 0,8 радиуса

Точно такой же характер размыва наблюдается и на противоположной стенке.

Проведение опытов с подогревом показало, что при подогреве силиконового масла происходит больший отрыв его частиц от основной массы шлака и миграция их по всему объему модели. Также при подогреве наблюдается ускоренный износ стенки в месте контакта с силиконовым маслом.

При проведении опытов на объемной модели использовался акриловый резервуар объемом 150 литров. С высотой 750 мм и верхним диаметром 550 мм и нижним 500 мм соответственно. Конструкция установки позволяла менять положение продувочных узлов в днище ковша и их количество. Ковш во время экспериментов продувался двумя пробками, расположенными на 0,5 и 0,8 радиуса, с целью подтверждения критериальной зависимости между плоской и объемной моделью, так как места размыва огнеупорного слоя на плоской и объемной модели находились в одних и тех же местах, процентное отношение износа футеровки с учетом одного и того же временного отрезка были аналогичными (рис. 3).

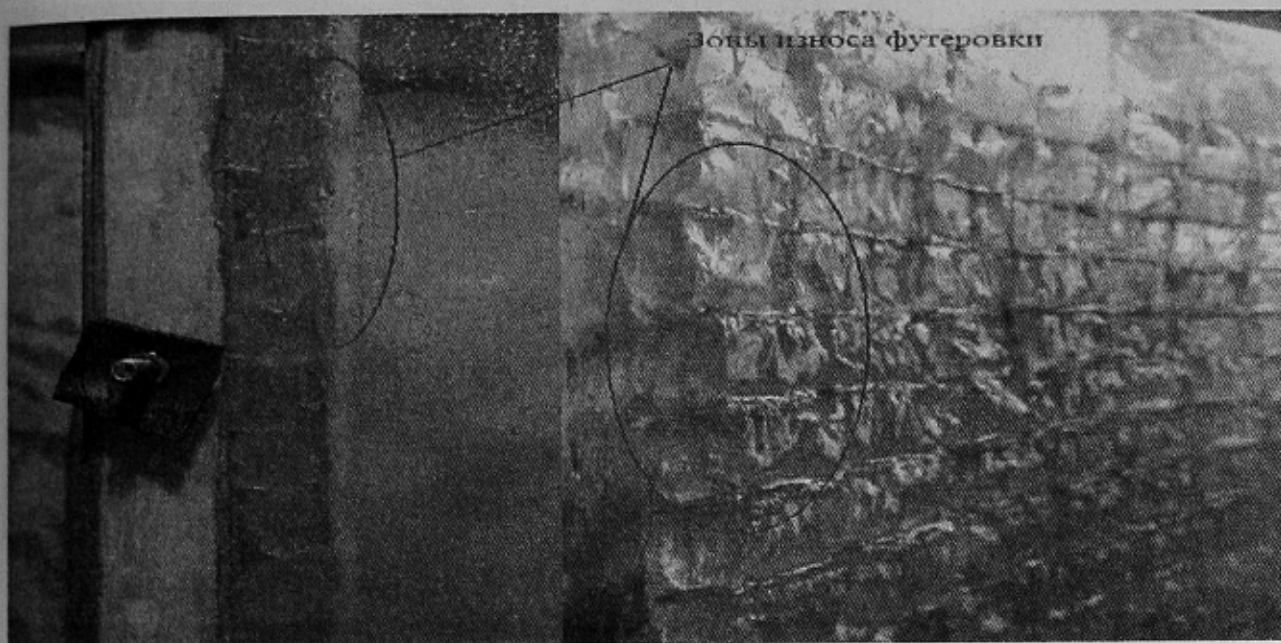


Рисунок 3 – Зоны размыва на плоской и объемной моделях

В ходе опытов подтвердилась закономерность, наблюдаемая на плоской модели: при положении пробок на 0,5 радиуса сильный размыв стенки под пробками от центра и к шлаковому поясу с очень сильным размывом самого шлакового пояса. Противоположная стенка при этом размывается не сильно. Это вызвано тем, что поток в основном идет выше, и размываются верхние слои футеровки, тогда как ближе к днищу наблюдается некоторой застой.

При положении пробок на 0,8 радиуса закономерность та же, что и для плоской модели: равномерное размытие стенки под пробками, шлаковый пояс размывается не так значительно, как при положении пробок на 0,5 радиуса. Однако при этом противоположная стенка размывается сильнее в районе от центра к днищу.

В результате выполненных экспериментов установлено, что данные износа огнеупорного слоя на металлургических заводах Украины и данные полученные на плоской и объемной моделях идентичны и можно сделать вывод, что результаты, полученные при экспериментах, достоверны и можно учитывать их значение при производственных задачах (рис. 4).

### **Выводы и перспективы дальнейших исследований**

В дальнейшем планируется проведение исследований с подогревом моделирующей жидкости и с применением силиконового масла в качестве аналога шлака, так как отношение вязкость силиконового масла и воды при 40°C аналогично отношению вязкости металла и шлака при 1560°C.





Рисунок 4 – Износ футеровки в объемной модели и в сталеразливочном ковше

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К.К.Стрелов, И.Д.Кашеев. - М.: Металлургия, 1996. - 608 с.
2. Стариков В.С. Огнеупоры и футеровка в ковшевой металлургии: учебное пособие / В.С.Стариков, М.В.Темлянцев, В.В.Стариков.- М.: «МИСИС», 2003.-328 с.
3. Попель СИ. Смачивание огнеупорных материалов расплавленным металлом и шлаком / С.И.Попель // Теория и практика литейного производства. – Свердловск: Машгиз, 1959. – С. 162-172.
4. Металлургические мини-заводы / А.Н.Смирнов, В.М.Сафонов, Л.В.Дорохова, А.Ю. Цупрун – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 469с.

Поступила в редакцию 08.10.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. Н.А. Маняк

© Смирнов А.Н., Жемеров С.Г., Штепан Е.В., 2010

УДК 669.162

**А.М. Зборщик, Н.Ф. Анищенко, В.П. Стец, Д.А. Галинков,  
А.П. Витязь, М.Я. Васькевич, И.В. Автюхович**

### **ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОСТИ КОВШЕВОГО ШЛАКА НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ЧУГУНЕ В КОВШАХ**

Показано, что для предотвращения ресульфурации чугуна в ковшах основность ковшевого шлака должна составлять не менее 1,0. Повышение основности шлака до 1,1 – 1,2 и более создает условия для десульфурации чугуна при наполнении и транспортировании ковшей и снижения интенсивности ресульфурации металла после глубокой десульфурации чугуна магнием.

Ключевые слова: чугуновозный ковш, основность шлака, ресульфурация и десульфурация чугуна