

Министерство образования и науки Украины  
Приазовский государственный технический университет  
Академия наук высшей школы Украины  
Международная академия технического образования



**МАТЕРИАЛЫ**  
**VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ**  
**КОНФЕРЕНЦИИ**  
**«ТЕПЛО - И МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В**  
**МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

6-8 сентября 2006 г

г. Мариуполь

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СТАЛИ В УСТАНОВКЕ КОВШ-ПЕЧЬ С ДВУМЯ ПРОДУВОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Смирнов А.Н., Салмаш И.Н., Ошовская Е.В. (ДонНТУ, Украина)

Продувка жидкой стали инертным газом в установке ковш-печь является одной из основных технологических операций в системе мероприятий, направленных на повышение качества металла. Для обеспечения оптимальной эффективности внепечной обработки необходимо учитывать особенности конкретного производственного цеха, а именно, геометрические параметры ковша; длительность обработки; экономические критерии результатов обработки. Поэтому в настоящее время актуальной проблемой является определение оптимальных параметров продувки стали инертным газом через донные продувочные фурмы, а именно расположения продувочных устройств, расхода газа, времени перемешивания.

Поиск решения указанной задачи был выполнен на основе компьютерной математической модели, учитывающей тепловые и гидродинамические процессы, происходящие в сталеразливочном ковше в ходе обработки. При этом компьютерное моделирование проводилось с помощью прикладного пакета ANSYS с гидродинамическим расчетным модулем (FLOTTRAN), реализующего метод конечных элементов. Разработанная математическая модель позволяет качественно и количественно оценивать поведение металлургического расплава, подвергающегося продувке инертным газом, для различных условий и режимов продувки. Модель базируется на следующих положениях. Процесс перемешивания жидкой стали осуществляется за счет вдувания инертного газа через два продувочных отверстия в днище ковша и за счет естественной конвекции. Скорость жидкого расплава на границе со стенками ковша, кроме зоны продувочного отверстия, равна нулю. Объемный расход вдуваемого газа через одно отверстие варьировался от 0,05 до 0,5 м<sup>3</sup>/мин при диаметре продувочного отверстия 100 мм. Причем моделировались режимы продувки с неодинаковыми расходами через два отверстия. Начальная температура жидкого металла равняется 1620 °С, а температура расплава на границе со стенками и днищем ковша – 1500 °С. Максимальная продолжительность процесса продувки – 600 с, при этом температура расплава на границе со шлаком поддерживается постоянной на уровне 1660 °С за счет дополнительного подогрева. Расположение

расположения продувочных отверстий варьировалось в диапазоне  $r = 0,25 \dots 1,05$  м. Математическая модель учитывала также явления теплопередачи между расплавом и футеровкой ковша, и между расплавом и шлаком.

В результате компьютерного моделирования получены картины полей скоростей потоков расплава и распределения температуры в зависимости от расположения продувочных отверстий и расхода вдуваемого газа через каждое из отверстий продувки. Рассмотрение и анализ полученных результатов позволил установить некоторые закономерности процесса перемешивания.

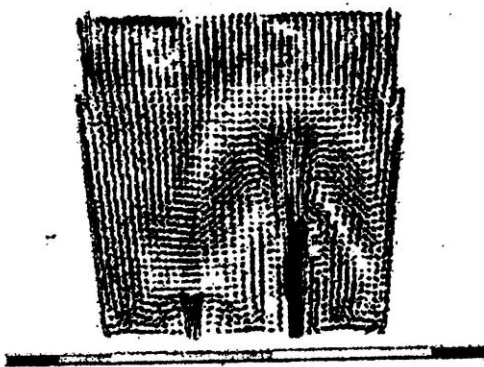
При продувке расплава газом с небольшими расходами  $0,05$  и  $0,15$  м<sup>3</sup>/мин и расположении продувочных устройств на расстоянии  $0,25 - 0,55$  м от вертикальной оси происходит слабое перемешивание расплава; в перемешивание вовлекается жидкий металл, расположенный в нижней части ковша; зоны циркуляции образуются только вблизи газожидкостных потоков, исходящих от каждого из продувочных отверстий; скорость потоков в зонах циркуляции составляет  $0,03 \dots 0,04$  м/с. При перемещении продувочных устройств ближе к стенкам ковша (расстояние  $0,65 \dots 1,05$  м) процессы перемешивания интенсифицируются; скорость потоков достигает  $0,2 \dots 0,4$  м/с; в расплаве образуются две основные зоны циркуляций, захватывающие все пространство ковша; но при этом газожидкостные потоки не проникают через поверхность раздела расплав-шлак.

При продувке с расходами  $0,05$  м<sup>3</sup>/мин (левое отверстие) и  $0,3 \dots 0,5$  м<sup>3</sup>/мин (правое отверстие) в ковше образуется преимущественно две зоны циркуляции расплава. Расположение этих зон и скорость расплава в них определяются газожидкостным потоком с большим расходом. При размещении продувочных отверстий на расстоянии  $0,25 \dots 0,55$  м скорость потоков составляет  $0,1 \dots 0,25$  м/с, поток с большим расходом поднимается вверх практически вертикально и, отклоняясь вблизи поверхности раздела расплав-шлак к стенкам ковша, образует две зоны циркуляции – большую (расположенную слева), перемешивание в которой активизируется также за счет вдувания газа с меньшим расходом через второе отверстие, и малую (расположенную справа), скорости потоков в ней невелики и значительного влияния на футеровку ковша не оказывают. По мере приближения продувочных отверстий к стенкам ковша размеры зон, скорости и характер движения потоков в них изменяется. Поток с большим расходом по мере подъема вверх несколько отклоняется к левой стенке ковша; большая зона циркуляции практически

занимает весь объем ковша; скорости потоков в этой зоне составляют 0,4...0,5 м/с; малая зона становится меньше и смещается вверх в область шлакового пояса. Причем скорости потоков расплава в этой зоне имеют более высокие значения 0,2..0,3 м/с, что будет вызывать износ футеровки.

Для условий, когда расход газа через левое отверстие составлял 0,15 м<sup>3</sup>/мин, а через правое 0,3...0,5 м<sup>3</sup>/мин, картины движения потоков имели характер схожий с описанным ранее, но значения скоростей были выше. Следует отметить, что при одинаковом расходе через оба отверстия движение потоков имеет более стабильный и устойчивый характер, а полученные картины полей скоростей симметричны относительно вертикальной оси ковша.

На рис.1 представлены характерные поля скоростей перемещения расплава к моменту времени 60 с, полученные при расположении продувочных отверстий на расстоянии 0,45 м от вертикальной оси ковша и различных расходах газа.



а

б

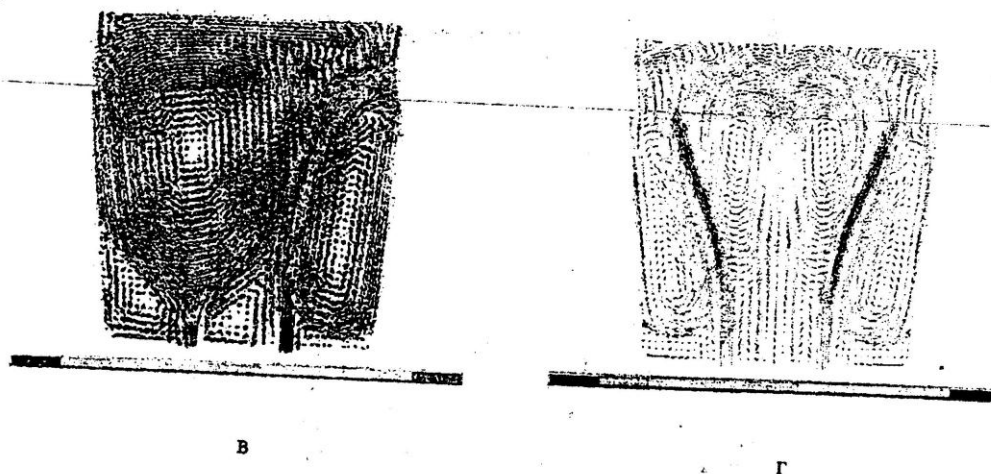


Рис.1. Поля скоростей при продувке через два отверстия при разных расходах газа:

а) 0,05 и 0,15 м<sup>3</sup>/мин; б) 0,05 и 0,5 м<sup>3</sup>/мин; в) 0,15 и 0,5 м<sup>3</sup>/мин; г) 0,5 и 0,5 м<sup>3</sup>/мин

Для проверки полученных при компьютерном моделировании качественных картин движения потоков расплава была проведена серия физических экспериментов на плоской и объемной водных моделях. При этом в качестве рабочего тела, моделирующего жидкую сталь, использовалась вода, а для имитации шлака применялось силиконовое масло, перемешивание осуществлялось воздухом. Геометрический масштаб физической модели определен с учетом критериев подобия Фруда и гомохронности и составил 1:10. Для визуального наблюдения газожидкостных потоков стенки модели выполнены из прозрачного стекла, а вода подкрашивалась специальным индикатором для цветового отличия от силиконового масла. Наблюдаемые картины перемешивания фиксировались с помощью цифровой камеры. Экспериментальная установка позволяла регулировать расход газа и изменять положение продувочных устройств относительно вертикальной оси сосуда.

На физической модели изучался характер движения потоков жидкости для различных условий продувки, т.е. расходе вдуваемого воздуха и расположении продувочных пробок. Зарегистрированные в ходе физических экспериментов картины движения потоков показали их подобие с полученными в ходе компьютерного моделирования. На рис.2 приведена характерная картина распределения газожидкостных потоков в ковше при продувке через два отверстия с разными расходами.



**Рис.2. Картина движения потоков при продувке через два отверстия**

Таким образом, математическое моделирование процессов перемешивания позволило установить наиболее рациональные параметры продувки для исследуемой установки ковша-печь, удовлетворяющие требованиям температурного режима расплава, времени перемешивания, влияния на футеровку и учитывающие расположение электродов и разливочных отверстий. А именно, расход вдуваемого газа должен находиться в диапазоне  $0,2...0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ , а продувочные отверстия следует располагать на расстоянии  $0,45..0,75 \text{ м}$  от вертикальной оси.