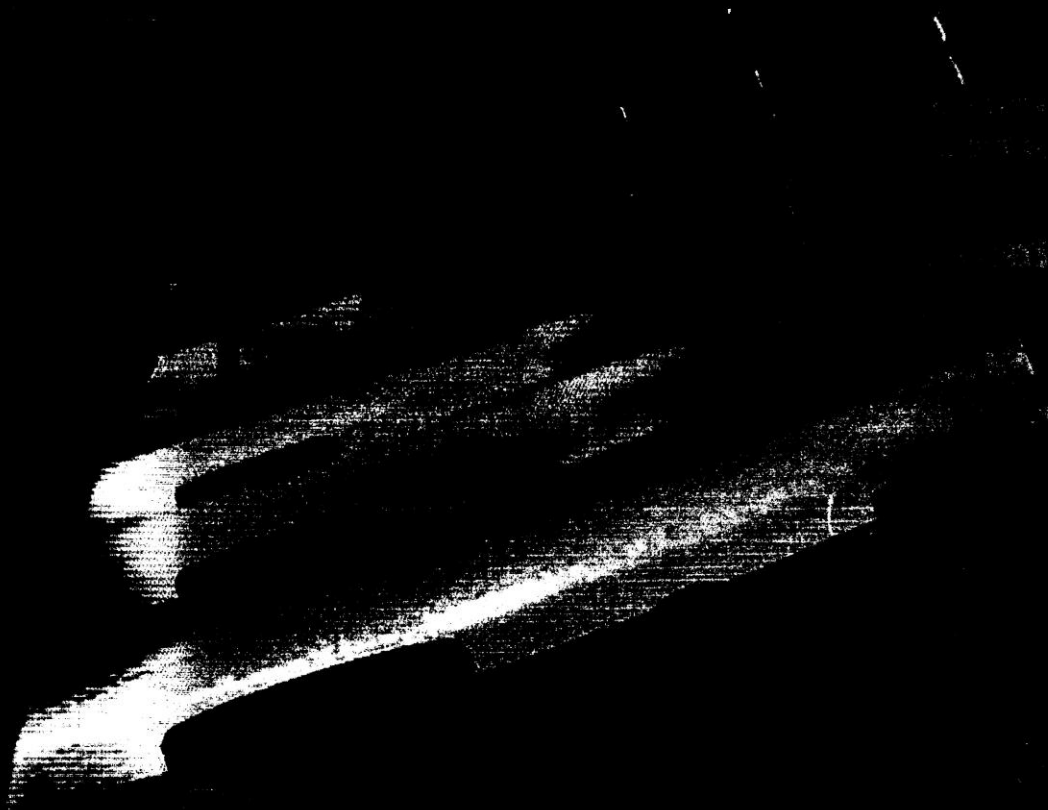


1
2006

**Материалы
второго заседания
Межведомственного
научно-технического совета
Украины по проблемам
внепечной обработки и
непрерывной разливки стали**



КРАШН

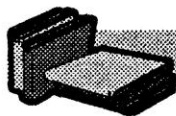
штуцеры, сообщающие своими каналами камеру с всасывающими патрубками малогабаритных эжекторов 9. Для подачи рабочего воздуха к соплам эжекторов служит трубопровод 8.

Исследования, выполненные на математических и физических моделях, и результаты стендовых испытаний опытного образца затвора, снабженного блоком разрежения, свидетельствуют о значительных изменениях гидродинамических условий непрерывной разливки стали при пониженном давлении в полости огнеупорной трубы, экранирующей струю жидкого металла на участке между основным и промежуточными ковшами.

Во-первых, воздух, просачивающийся в разливочный канал между контактирующими рабочими поверхностями огнеупорных плит затвора, как только попадает в полость защитной трубы, сразу же эвакуируется эжектором наружу. Одновременно с этим наблюдается резкое расширение истекающей жидкостной струи, вызывающее значительное

6-10 раз) снижение скорости ее движения и, следовательно, уменьшение глубины проникновения воздушных пузырьков в жидкую ванну и динамического воздействия нисходящих потоков расплава на донную часть футеровки промежуточного ковша. При эксплуатации затвора, снабженного блоком разрежения, обеспечиваются условия, способствующие не только сокращению поверхности и длительности контакта газовой и жидкой фаз, а и улучшению условий службы рабочего слоя огнеупорной футеровки промежуточного ковша МНЛЗ [14].

Таким образом, результаты проведенных лабораторных и промышленных экспериментов, а также физического и математического моделирования работы устройств для разливки стали позволили найти рациональные технические решения, заложенные в конструкции новых шиберных систем отечественного производства, использование которых будет способствовать повышению технико-экономических показателей технологии производства качественной металлопродукции.



ЛИТЕРАТУРА

1. Еронько С.П., Быковских С.В. Разливка стали. Технология. Оборудование. - К.: Техника, 2003. - 218 с.
2. Новое оборудование для отсеки шлака при выпуске стали из плавильных агрегатов / С.П.Еронько, А.Н.Смирнов, В.А.Нечепоренко и др. // Металл и литье Украины. - 2002. - № 12. - С. 4 - 6.
3. Еронько С.П. Совершенствование системы шиберного затвора для выпускного канала дуговой сталеплавильной печи // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2001. - № 2. - С. 98 - 100.
4. Еронько С.П. Целесообразность применения в сталеплавильном производстве многофункциональных систем скользящих затворов // Металл и литье Украины. - 2001. - № 3-4. - С. 21 - 24.
5. Золотухин В.И., Соломин Н.П., Полубесов С.Г. Шиберные системы нового поколения // Металлург. - 2000. - № 1. - С. 40 - 42.
6. Кулик А.Д. Основные проблемы шиберной технологии разливки стали // Сталь. - 2001. - № 2. - С. 13 - 15.
7. Перспективы применения шиберных затворов при разливке / В.А.Кононов, А.А.Алпатов, А.И.Соколов и др. // Сталь. - 2002. - № 3. - С. 59 - 66.
8. Отечественные ковшовые затворы нового поколения / С.П.Еронько, А.Н.Смирнов, А.Ю.Цупрун и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2005. - № 1. - С. 95 - 100.
9. Рациональные системы скользящих затворов // Металлург. - 2003. - № 4. - С. 45 - 47.
10. Пиллюшенко В.Л., Еронько С.П., Шестопапов В.Н. Бесстыльная разливка стали. - К.: Техника, 1991. - 179 с.
11. Еронько С.П. Совершенствование электромеханического привода скользящего затвора для дозированной подачи металла // Металлург. - 2002. - № 3. - С. 51 - 52.
12. Еронько С.П. Расчет параметров устройства для газодинамической защиты стали от вторичного окисления // Изв. вузов. Черная металлургия. - 2002. - № 9. - С. 54 - 58.
13. Еронько С.П. Исследование процесса подсоса воздуха в канал ковшового затвора при разливке стали // Наукові праці ДонНТУ. Металургія: Донецьк. - 2002. - Вип. 40. - С. 54 - 57.
14. Еронько С.П. Исследование и разработка устройства для непрерывной разливки стали в разреженной атмосфере // Изв. вузов. Черная металлургия. - 2003. - № 5. - С. 20 - 23.

УДК 669.018.4:66.063.8

Е.В.Ошовская, И.Н.Салмаш (ДонНТУ), А.Н.Минтус, А.Ю.Цупрун, Д.А.Денисенко, Е.В.Штепан (ДонНТУ, НПО "Доникс")

Моделирование процесса перемешивания расплава в сталеразливочном ковше с двумя продувочными отверстиями

Продувка жидкой стали инертным газом в сталеразливочном ковше является одной из основных технологических операций в системе мероприятий, направленных на повышение качества металла. Несмотря на тот факт, что в функциональном плане процессы продувки жидкой ванны изучены достаточно многосторонне, практика внепечной обработки стали показывает, что для обеспечения оптимальной эффективности внепечной обработки необходимо учитывать индивидуальные параметры конкретного сталеплавильного цеха. В первую очередь это относится к геометрическим параметрам ковша, длительности обработки, ее этапности, а также к совокупности критериев, характеризующих экономическую сторону результатов обработки. Поэтому в настоящее время актуальной проблемой являются исследования в области оптимизации параметров продувки стали инертным газом через донные продувочные фурмы.

Эффективное решение такого рода задач может быть выполнено только на базе комплексного математического моделирования, с учетом тепловых и гидродинамических процессов, происходящих в сталеразливочном ковше в ходе обработки. При этом компьютерное моделирование осуществляется на базе современных мощных прикладных пакетов с гидродинамическими расчетными модулями (типа ANSYS/FLOTTRAN), реализующими метод конечных элементов. Применение подобных пакетов позволяет разрабатывать математические модели поведения металлургического расплава, подвергающегося продувке, и проводить на их основе исследования, связанные с изучением влияния геометрических параметров продувочных устройств и режимов продувки на качественные и количественные характеристики перемешивания стали.

В настоящей работе рассмотрены результаты

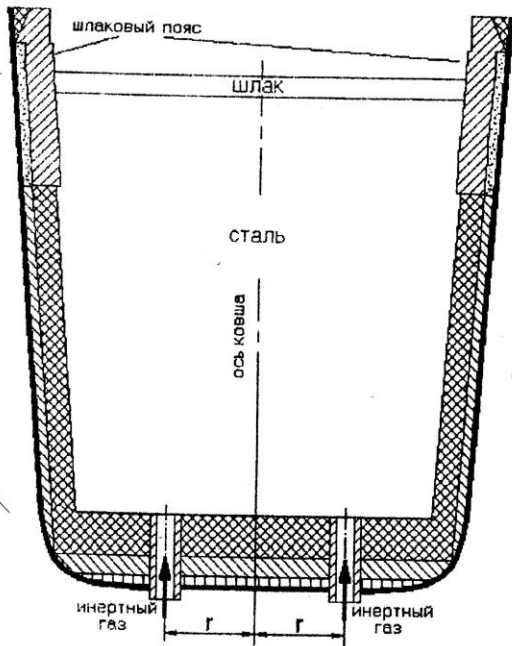


Рис. 1. Схема сталеразливочного ковша вместимостью 130 т с двумя продувочными отверстиями

математического моделирования перемешивания расплава в ковше при вдувании инертного газа через два продувочных отверстия, расположенных осесимметрично в днище сталеразливочного ковша вместимостью 130 т (рис. 1). В ходе проведенных исследований изучалось влияние места расположения продувочных отверстий на качественные и количественные характеристики гидродинамических потоков, а также гомогенизацию расплава по температуре.

Разработанная математическая модель перемешивания расплава базировалась 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 принят $0,4-0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ при диаметре продувочного отверстия 100 мм. Начальная температура жидкого металла равняется 1620°C , а температура расплава на границе со стенками и дном ковша – 1500°C . Процесс продувки длится 600 с, при этом температура расплава на границе со шлаком поддерживается постоянной на уровне 1660°C за счет дополнительного подогрева. Расположение продувочных отверстий варьировалось в диапазоне $r = 0,25 \dots 1,05 \text{ м}$. Математическая модель учитывала также явления теплопередачи между расплавом и футеровкой ковша, и между расплавом и шлаком. Такая постановка задачи соответствует условиям технологических операций, выполняемых в агрегате "ковш-печь", рабочей емкостью которого выступает сталеразливочный ковш.

В результате выполненного моделирования получены картины полей скоростей потоков расплава и распределения температуры в зависимости от расположения продувочных отверстий и длительности продувки. На рис. 2 представлены характерные поля скоростей перемещения расплава к моменту времени 60 с, полученные для различного расположения продувочных отверстий.

В ходе выполненного анализа установлено, что существует определенное подобие в закономерностях движения потоков: от продувочных отверстий потоки расплава поднимаются вверх с максимальной скоростью. По ходу подъема скорость потоков несколько уменьшается (приблизительно на 17...20%), а периферийные части потоков отклоняются к стенкам и оси ковша и спускаются вниз к днищу ковша, вовлекая смежные объемы расплава в движение и образуя зоны циркуляции.

Для практически любого расположения продувочных отверстий в ковше можно выделить четыре основные зоны циркуляции расплава: две центральные, расположенные вдоль оси ковша, и две боковые, расположенные возле стенок. Потоки с минимальной скоростью ($0,1 \dots 0,14 \text{ м/с}$) наблюдаются преимущественно возле днища, в центральной части каждой из зон циркуляции, а для поверхностного слоя также возле стенок и по оси ковша.

Наряду с похожестью наблюдаемых картин движения потоков при различном расположении продувочных отверстий, можно выделить и ряд существенных отличий. Так при

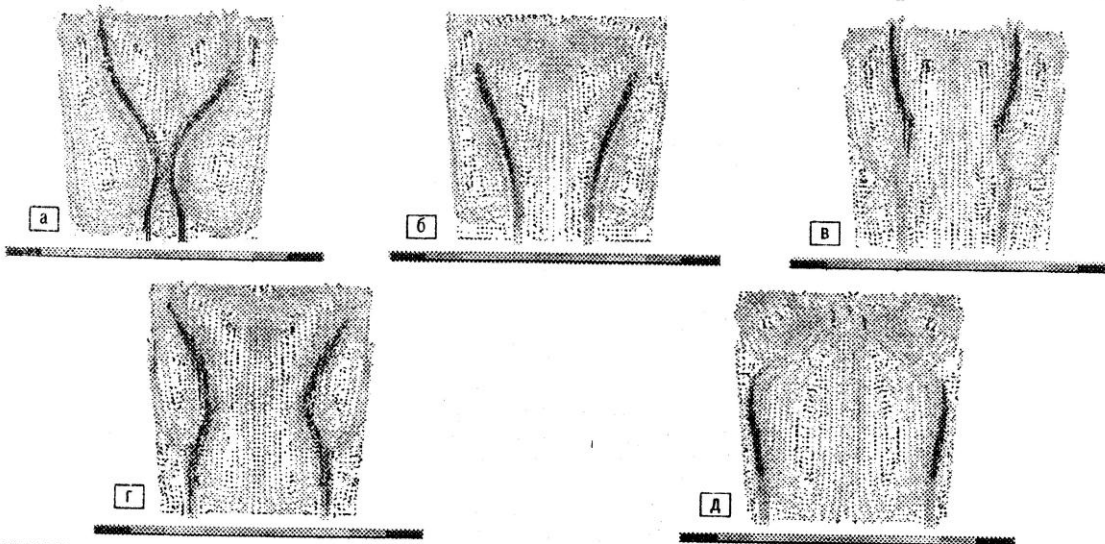


Рис. 2. Поля скоростей расплава через 60 с после начала продувки при расположении продувочных отверстий на расстоянии r от оси ковша: а) $r=0,25 \text{ м}$; б) $r=0,45 \text{ м}$; в) $r=0,65 \text{ м}$; г) $r=0,85 \text{ м}$; д) $r=1,05 \text{ м}$

размещении отверстий на расстоянии от оси ковша $r=0,25$ м два восходящих потока сближаются, практически сливаясь в один на уровне около 0,8 м, а затем снова расходятся. При этом в расплаве возникают еще две небольшие зоны циркуляции, расположенные между осью ковша и внутренними сторонами потоков. При размещении отверстий на расстоянии $r=0,45$ м каждая боковая зона циркуляции расплава делится на две

– верхнюю, расположенную в области шлакового пояса футеровки, и основную, расположенную вдоль рабочей части футеровки. Для случаев, когда продувочные отверстия находились на расстояниях $r=0,65$ м и $r=0,85$ м с внешней стороны каждого из восходящих потоков образуется три зоны циркуляции расплава: основная, занимающая около 2/3 общего объема и расположенная вдоль всей области шлакового пояса; и половины рабочей части футеровки, и две небольшие малоскоростные зоны циркуляции, возникающие по ней. Смещение продувочных отверстий к стенкам ковша ($r=1,05$ м) приводит к тому, что в верхней части расплава в области шлакового пояса образуются две активные зоны циркуляции, а между внешней стороной восходящих потоков и стенкой ковша в области рабочей футеровки возникает узкая зона циркуляции с невысокими скоростями.

Наряду с представленными картинками суммарные скорости потоков в ходе исследования были получены картины распределения температур расплава через 60 с после начала продувки. На рис.3 приведены графики изменения температуры по диаметру ковша на разных высотных уровнях расплава. Рассматривались следующие уровни: $y_1=2,85$ м – расплав возле поверхностного слоя, контактирующего со шлаком и соответствующей верхней части шлакового пояса футеровки; $y_2=2,35$ м – соответствует нижнему слою футеровки шлакового пояса; $y_3=1,1$ м – середина области рабочей футеровки ковша; $y_4=0,07$ м – нижняя зона ковша возле дна.

Как видно из представленных графиков, за 60 с продувки полного выравнивания температуры расплава не происходит. При любом расположении продувочных отверстий перепад температур по диаметру ковша составляет 50 ... 150°C, причем больший перепад наблюдается для случаев $r=0,25$ м и 0,45 м. Наименьший перепад температур расплава (10 ... 60°C) по диаметру ковша на любом из рассмотренных уровней соответствует расположению продувочных отверстий возле стенок ковша ($r=1,05$ м). Для любых вариантов расположения продувочных отверстий самые меньшие перепады температуры расплава наблюдаются в нижней части ковша (уровни y_3 и y_4), температура в верхней части расплава оказывается менее однородной. Следует отметить, что дальнейшие расчеты показали, что уже через 300 с от начала продувки температура расплава практически выравнивается по всему объему ковша и достигает 1520 ... 1530°C для любого варианта расположения продувочных отверстий. Исключением является верхняя часть расплава (уровень y_1), контактирующая со шлаком здесь перепад температуры несколько выше – около 40 ... 60°C. Через 600 с от начала продувки температура всего расплава становится однородной.

Таким образом, рассмотрение картин скоростей потоков и распределения температур расплава, полученные для различных вариантов расположения продувочных отверстий, выявило их относительное подобие, что не позволяет однозначно выделить наиболее рациональное размещение отверстий продувочных узлов в системе принятых критериев оценки. Поэтому дальнейшие исследования целесообразно выполнять таким образом, чтобы был обеспечен анализ дополнительных количественных параметров, характеризующие процесс перемешивания расплава: интенсивность перемешивания в различных зонах ковша: ϵ (Вт/т), доля восходящих потоков d_s , средняя скорость восходящих потоков \bar{U}_Y^B (м/с) и доля нисходящих потоков \bar{U}_Y^H (м/с).

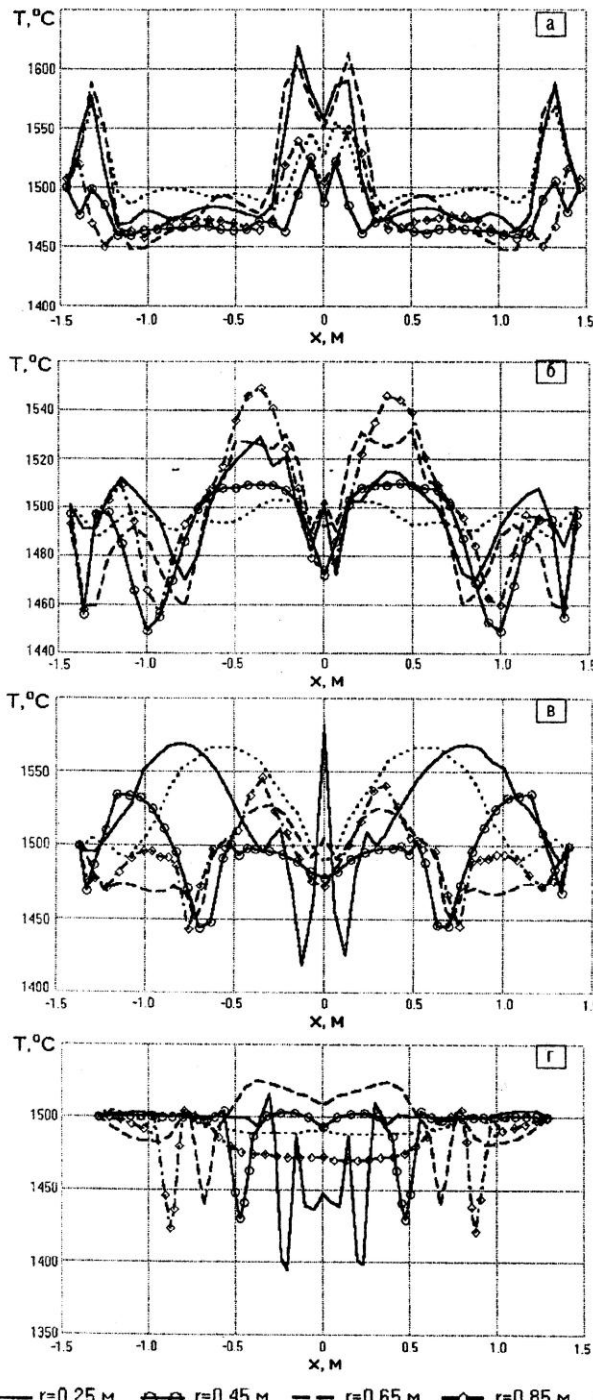


Рис. 3. Распределение температуры по диаметру ковша на высотных уровнях: а) 2,88 м; б) 2,35 м; в) 1,1 м; г) 0,07 м для различных расположений продувочных отверстий