

## Моделирование тепло-массообменных процессов при продувке стали в разливочных ковшах малой вместимости

Рассмотрены проблемы внедрения в условиях мини- и микро-заводов технологий выпечки обработки стали и оборудования для их реализации. Приведены результаты модельных исследований процесса доменной продувки стали в ковшах малой вместимости и выданы рекомендации по выбору способов перемешивания в них металла, обеспечивающих минимизацию энергетических и материальных затрат, связанных с достижением требуемого уровня качества выпускаемой металлопродукции.

Получившая в мировой металлургической практике широкое развитие концепция мини- и микро-заводов, ориентированных на выпуск сравнительно небольших объемов металлопродукции (40 – 100 тыс. т/год), обладающей совокупностью уникальных свойств и, соответственно, имеющей высокую стоимость, по оценке экспертов, представляет значительный интерес для промышленности Украины с точки зрения повышения ее сегодняшнего потенциала за счет реконструкции большого числа малых предприятий (бывших ремонтных заводов), способных осуществлять поставки по контрактам на отечественный и зарубежный рынки партии сертифицированного сортового, листового и трубного проката [1].

Коренная реконструкция сталеплавильных цехов таких заводов, предполагающая оснащение их современным оборудованием, обеспечивающим реализацию передовых технологий выпечки обработки и разливы металла, связана с решением ряда технических и технологических задач, обусловленных спецификой условий работы машин и агрегатов сравнительно небольшой производительности. Как показала практика, оптимизация режимов обработки стали, являющихся оптимальными для производственных условий мини- и микро-заводов, требует проведения комплексных исследований процессов тепло- и массообмена, протекающих в ванне разливочного ковша во время перемешивания жидкого металла различными способами.

В настоящей работе представлены результаты изучения на физических моделях влияния гидродинамических условий перемешивания жидкой стали в разливочных ковшах вместимостью от 10 до 50 т на процесс ее гомогенизации по температуре и химическому составу, а также на интенсивность отвода от нее тепла в окружающее пространство до начала разливы.

Для проведения исследований были изготовлены в масштабе 1:10 объемные модели сталеразливочных ковшей,

размеры которых выбирали с учетом данных предварительных выполненных расчетов поверхности теплоотдачи расплава при различном отношении высоты и среднего диаметра ковша соответствующей вместимости (данные таблицы).

В состав лабораторной установки кроме модели ковша с устанавливаемой в его днище фурмы или пористой пробки входили также продувочная система, включающая компрессор, ресивер, ротаметр и манометр, а также контрольно-измерительный комплекс, состоящий из усилителя, аналого-цифрового преобразователя и ЭВМ.

В качестве основных критериев оценки интенсивности тепло- массообменных процессов, протекающих при моделировании доменной продувки стали, принимали скоростные параметры циркуляционных потоков, а также время выравнивания температуры и химического состава перемешиваемой жидкости по всему объему модели ковша.

Для контроля скорости жидкостных потоков применили специальный зонд, снабженный тензорезисторным преобразователем, позволяющим фиксировать в контрольной точке модели динамический напор потока, пропорциональный его скорости [2].

Обеспечиваемую степень гомогенизации моделирующей расплава жидкости при ее перемешивании воздухом, вдуваемым с различным расходом через донную фурму, оценивали с использованием химического метода [3], предполагающего введение в ванну модели ковша фиксированного количества индикатора (насыщенного солевого раствора) и контроль с помощью двух датчиков, размещенных на разных уровнях вблизи стенок модели, изменения разности концентраций раствора соли. Датчики, каждый из которых представлял два платиновых электрода, были включены в мостовую схему. Электрический сигнал, пропорциональный разности концентраций раствора соли в контролируемых точках, после усиления и обработки с помощью специальной программы выводили для визуального контроля на экран монитора и при необходимости делали его распечатку на принтере.

За время гомогенизации жидкой ванны в модели ковша принимали временный промежуток с момента подачи в жидкость индикатора и до момента снижения разности концентраций раствора соли до нулевого значения.

При имитации процесса перераспределения температуры в перемешиваемой ванне ковша жидкость, моделирующую расплав, подвергали предварительному разогреву с помощью мощного электронагревателя и затем с исполь-

Таблица  
Площадь теплопроводящих поверхностей расплава в ковшах малой вместимости при высоте  $H$  и среднем диаметре  $D$ .

Вместимость ковша, т	Объем металла в ковше, м <sup>3</sup>	$H = 1,1 D$			$H = D$			$H = 1,2 D$		
		Площадь зеркала металла в ковше, м <sup>2</sup>	Площадь контакта металла с футеровкой, м <sup>2</sup>	Площадь поверхности теплоотдачи металла, м <sup>2</sup>	Площадь зеркала металла в ковше, м <sup>2</sup>	Площадь контакта металла с футеровкой, м <sup>2</sup>	Площадь поверхности теплоотдачи металла, м <sup>2</sup>	Площадь зеркала металла в ковше, м <sup>2</sup>	Площадь контакта металла с футеровкой, м <sup>2</sup>	Площадь поверхности теплоотдачи металла, м <sup>2</sup>
10	1,43	1,5	5,7	7,2	1,3	5,9	7,2	1,2	6,1	7,4
20	2,86	2,4	9,1	11,5	2,1	9,3	11,4	1,8	9,5	11,3
30	4,29	3,1	11,7	14,8	2,7	12,0	14,7	2,4	12,4	14,8
40	5,72	3,8	14,4	18,2	3,3	14,8	18,1	2,9	15,2	18,1
50	7,14	4,4	16,6	21,0	3,9	17,5	21,4	3,3	17,6	20,9

зованием смонтированных в стенки модели в 12 точках на трех уровнях термомпар контролировали динамику изменения ее температуры в процессе продувки.

На основании полученных результатов лабораторных экспериментов установлено, что:

- передача энергии газовой струи окружающей жидкой среде наиболее интенсивно происходит в период ее разгона, т.е. при наличии значительного градиента скоростей взаимодействующих фаз, когда сопротивление со стороны жидкости, направленное против архимедовых сил, выталкивающих пузырьки воздуха, имеет максимальное значение;

- при пробойном истечении струи вдуваемого газа подавляющая часть ее энергии остается неиспользованной, поскольку покидающая перемешиваемую систему газовая фаза взаимодействует с жидкостью только на поверхности их раздела, имеющей форму обращенного конуса с углом раскрытия 20-25°;

- для заданного объема перемешиваемой жидкости достаточно полная ее гомогенизация наступает после 3-х кратной циркуляции и в дальнейшем энергия газовой струи расходуется лишь на поддержание устойчивой циркуляции жидкостных потоков;

- в моделях ковшей вместимостью до 20 т пробойный режим истечения газовой струи при донной продувке с требуемой интенсивностью подачи газа удается исключить только при использовании пористых пробок;

- продолжительность выравнивания температуры жидкости в модели разливочного ковша зависит от удельного расхода вдуваемого газа и в большинстве случаев совпадает с временем ее гомогенизации по химическому составу;

- скорость снижения температуры жидкости с течением времени в опробованных моделях разливочных ковшей одинаковой вместимости снижалась при увеличении отношения высоты и среднего диаметра ковша, что обусловлено соответствующим уменьшением площади свободной поверхности жидкой ванны.

Данные физического моделирования достаточно хорошо согласуются с результатами промышленных экспериментов, проводившихся авторами ранее в литейных цехах машиностроительных заводов при обработке легированной стали, используемой для получения ответственных отливок [4,5].

Полученная в ходе лабораторных исследований информация позволила разработать ряд практических рекомендаций по эффективному использованию разливочных ковшей

Л. А. Соколовская

малой вместимости в условиях мини- и микро-заводов при осуществлении обработки стали с целью стабилизации ее температуры и химического состава перед разливкой.

Из-за высокой стоимости продувочных пористых блоков продувка стали с их использованием экономически оправдана при проведении внепечной обработки стали в разливочных ковшах вместимостью свыше 30 т. В случае эксплуатации ковшей меньшей вместимости для обеспечения однородности стали по температуре и химическому составу перед разливкой целесообразно использовать электромагнитное перемешивание, которое позволит избежать повышенных материальных затрат на обработку стали и значительно сократить поступление в нее неметаллических включений в виде частиц, вымываемых из футеровки ковша мощными металлическими потоками при интенсивной газовой продувке через донные устройства.

Для снижения общих потерь тепла жидким металлом желательно использовать ковши с отношением высоты к среднему диаметру корпуса не ниже 1,2 и предусмотреть возможность применения утеплительных смесей или защитных крышек, препятствующих интенсивному отводу тепла в окружающее пространство от зеркала расплава.

В случае использования комплексной внепечной обработки стали необходимо добиваться сокращения общей продолжительности выполнения технологических операций, чему может способствовать их совмещение во времени (например, обработка шлакообразующими смесями при выпуске стали из плавильного агрегата с одновременной продувкой инертным газом через донное устройство).

## Литература

1. Панфилова Т.С., Дорохова Л.В. Тенденции развития мини-заводов и их целесообразность для Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2002. - № 10. - С. 29-32.
2. Ероцько С.П., Пильгук С.В., Орлов И.А. Совершенствование методики измерения скорости жидкостных потоков при физическом моделировании // *Заводская лаборатория*. - 1991. - № 4. - С. 45-47.
3. Ероцько С.П., Быковский С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разлива стали. - К.: Техніка, 1998. - 136 с.
4. Повышение качества литейной стали, применяемой в турбостроении / С.П.Ероцько, Н.А.Ченцов, Р.В.Руденко и др. // *Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Прогрессивная техника и технологии машиностроения» Донецк: ДонГТУ, 1995. - С.85.*
5. Внепечная обработка литой стали в ковшах с использованием донных продувочных устройств / С.П.Ероцько, С.В.Быковский, А.И.Шевченко и др. // *Металл и литее Украины*. - 2000. - №11-12. - С.30-32.

УДК 669.18

## Эффективность влияния дробы на качество металла слитков кипящей стали

*Выявлены особенности разлива кипящей стали с дробью. Показано, что введение стальной дробы в расплав крупных слитков кипящей стали приводит к снижению углерода и серы в осевых объемах слябных раскатов и выравниванию их содержания по длине раската.*

Усовершенствование технологий производства слитков с целью повышения качества получаемых из них стальных плит, рулонов и листов является актуальной проблемой развития современной металлургии [1].

Разработаны [2] технологии разлива спокойной стали сифоном и сверху в чугушные изложницы с вводом в расплав микрохолодильников в виде железного порошка и литой дробы, которые обеспечивают улучшение качества слитков. К прогрессивным технологиям получения круп-

ных слитков относится также разливка кипящей стали [3] в уширенные внизу чугушные изложницы с подачей на струю жидкого металла оптимальной дозы литой дробы.

Однако влияние дробы на качество металла, полученного прокаткой слитков кипящей стали изучено недостаточно. Поэтому данная работа проведена с целью подтвердить эффективность теплофизического воздействия вводимой в расплав дробы на качество крупных слитков кипящей стали и получаемого из них проката. Отсюда следует практически важная задача - получить металл с меньшим и более равномерным распределением углерода и серы по длине слябных раскатов из слитков кипящей стали, отлитых с дробью.

При разливке нераскисленной (кипящей) стали в слит-