

УДК 669.185.4:621.86.063

**В.Г. Ефимова****ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ В ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШАХ МНЛЗ**

На основании проведенных исследований с использованием моделирования на прозрачной модели установлена эффективная конструкция промежуточного ковша, которая в значительной степени обеспечивает удаление неметаллических включений. Механизм удаления неметаллических включений основан на создании существенных по величине вихреобразных гидродинамических структур, которые увеличивают время пребывания имитаторов неметаллических включений в раздаточной камере промежуточного ковша, а также в контакте с покровным шлаком. Данные исследований подтверждены промышленными экспериментами. В результате проведенных исследований внедрена в производство новая технология рафинирования стали.

Ключевые слова: промежуточный ковш, неметаллические включения, ортокинетическая коагуляция, вихреобразная гидродинамическая структура, многоканальная фурма

**Введение**

В настоящее время основными тенденциями развития металлургического производства в нашей стране является, с одной стороны, все возрастающая доля производства стали непрерывнолитым способом, и, с другой стороны, борьба за повышение качества металла в обострившейся конкуренции как на внутреннем, так и на мировом рынке.

Возросшие требования к качеству металла вывели ПК в самостоятельный агрегат, способный существенно влиять на качество металла [1]. Главную роль в этом агрегате играет организация потоков металла, способствующая всплыванию неметаллических включений (НВ).

Активному удалению этих включений способствуют правильный выбор геометрии промежуточного ковша, продувка металла аргоном через многоканальные протяженные фурмы, способствующие эффективно перемешиванию расплава.

На скорость извлечения шлаковых и НВ из стали существенное влияние оказывает их предварительная агрегация. Выход продуктов раскисления стали на границу раздела фаз связывают с предварительным укрупнением частиц по механизму ортокинетической коагуляции, вследствие воздействия гравитационных сил и турбулентного перемешивания. Эффективность влияния турбулентного перемешивания определяется характеристическими размерами турбулентности [4].

Ассимилирующая способность защитного покровного шлака может быть существенно усилена за счет увеличения времени контакта металла со слоем шлака и улучшения условий массообмена на границе шлак-металл. Все эти условия реализуются за счет рациональной организации потоков ванне промежуточного ковша.

На основании выше приведенных принципах во ФТИМС НАНУ и НТУУ «КПИ» МОНУ разработаны и внедрены ряд технологий рафинирования металла в промежуточном ковше. Технологии разрабатывались на основании изучения гидродинамических процессов моделирования с выделением акцентов на задержке времени пребывания имитаторов НВ в модели ПК, процессов турбулизации системы, близости прохождения потоков у поверхности (в реальных условиях непосредственный контакт с технологической шлаковой фазой ШОС). Кроме того, исследования проводились с учетом технологии разливки металла.

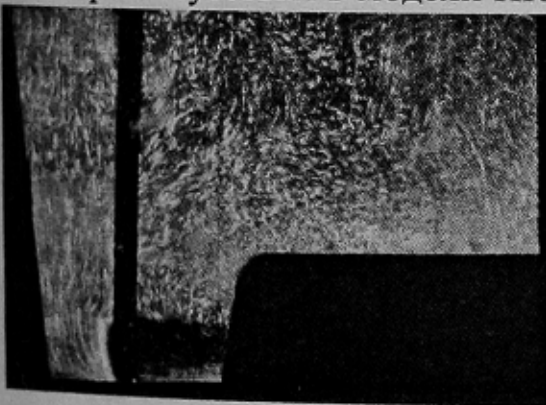
### Цель работы

В данной работе при помощи моделирования исследовали возможность создания условий, обеспечивающих как можно более длительное пребывание имитаторов НВ в модели промежуточного ковша.

### Основная часть

При физическом моделировании в качестве имитаторов потоков использовали шарики полистирола плотностью  $0,9-1,1 \text{ г/см}^3$  и дисперсный порошок алюминия с размером частиц  $5 \text{ мкм}$  и менее. Суть эксперимента заключалась в подаче в модель промежуточного одинаковых порций имитаторов НВ ( $100 \text{ см}^3$ ). Гидродинамические структуры, обозначаемые имитаторами, образованные потоками жидкости, зависящими от внутренней конструкции модели промежуточного ковша (перегородки; конфигурация переточных каналов; углы наклона каналов, места их расположения в перегородке; места расположения перегородок и фурм) фиксировались на фотокамеру. Время пребывания имитаторов НВ в модели промежуточного ковша определялось по времени до полного исчезновения их порций из модели ПК.

При отсутствии в модели ПК перегородок и фурм, как видно из рис.1, в модели устанавливается стационарный режим.

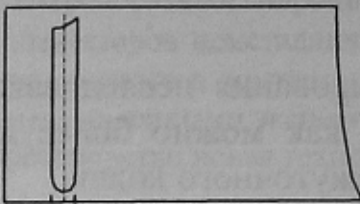
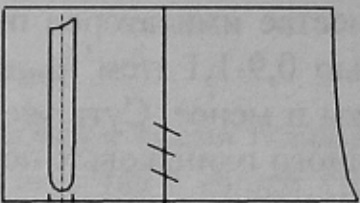
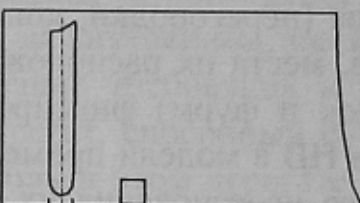
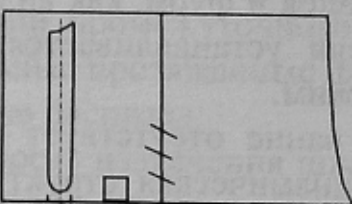
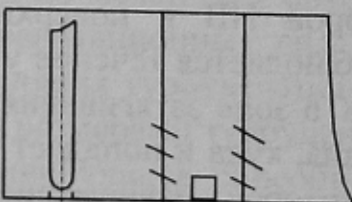


В ванне отсутствует выраженная гидродинамическая структура, связанная с турбулизацией, а также не наблюдается выраженного движения имитаторов НВ к поверхности. При этом наблюдается течение у дна модели ПК в зоне затягивания выпускного стакана, куда и попадает общая масса имитаторов, равномерно распределенная по объему всей жидкости. Отсюда следует, что за короткое время ( $12 \text{ сек}$ ) пребывание порций жидкости

Рисунок 1 – Схема распространения потоков в раздаточной камере промежуточного ковша без перегородок продувочных фурм.

в модели ПК не создают условия для возможности всплывания имитаторов НВ. В реальных условиях это исключает контакт большей части НВ со шлаковой фазой (см. табл. 1, схема 1).

Таблица 1 – Результаты моделирования зависимости времени пребывания имитаторов неметаллических включений от внутренней конструкции промежуточного ковша.

№ Схемы	Схема конструкции промежуточного ковша	Описание конструкции	Время полного удаления гранул, сек
1		промковш без перегородок и фурм	12
2		промковш с перегородкой	30
3		промковш с фурмой	37
4		промковш с фурмой и перегородкой	45
5		промковш с двумя перегородками и фурмой	74

Установка перегородки с переточными каналами, рис.2, создает существенную направленную турбулизацию с образованием вихрей. Имитаторы НВ затягиваются в затопленные струи и при правильной направленности расположения переточных каналов подаются к шлаковой поверхности.

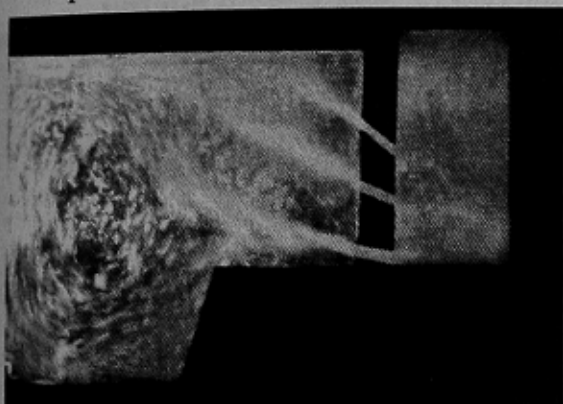


Рисунок 2 – Схема распространения потоков в раздаточной камере промежуточного ковша с многоканальной перегородкой.

Правильный вариант установки протяженной фурмы и оптимальный режим продувки [3, 4], рис. 3, позволяет создавать гидродинамику и характер перемещения имитаторов аналогично как и при установке перегородки. Однако в этом случае силовое воздействие на объемы жидкости более существенное и имитаторы НВ дольше задерживаются на орбитах вихреобразных структур, поэтому и время их пребывания в модели промежуточного ковша дольше, табл. 1, схема 3. Характерные недостатки перемещения имитаторов в модели ПК присущи, как и в предыдущей схеме.

Установка перегородки в сочетании с протяженной фурмой дает большой эффект задержки имитаторов НВ, табл.1, схема 4. Это обусловлено тем, что образующиеся дополнительные вихреобразные структуры, рис. 4, в этом случае активизируют большую часть объема раздаточной камеры. Недостатком этой схемы является обра-

При этом, находясь в вихре имитаторы неметаллических включений, задерживаются в его структуре и вращаются по орбитам с неоднократным прохождением под шлаковой поверхностью. Такие условия являются эффективными с точки зрения задержки имитаторов НВ в емкости промежуточного ковша, таблица 1, схема 2.

Недостатком такой схемы является то, что вихреобразная структура образуется в верхней части объема раздаточной камеры, однако, при этом образуется существенный поток, направленный в зону затягивания выпускного стакана.

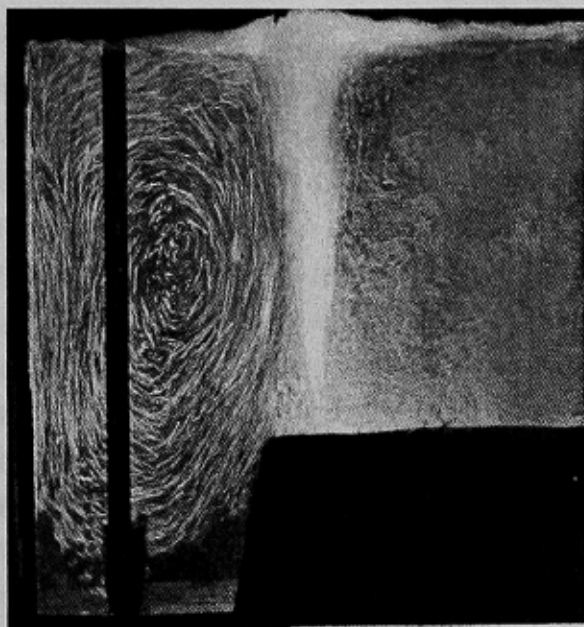


Рисунок 3 – Схема распространения потоков в раздаточной камере промежуточного ковша при продувке через протяженную многоканальную фурму.

зование потока имитаторов НВ направленного в зону воздействия выпускного стакана.

Наиболее эффективные условия для задержки имитаторов НВ, рис.5, табл.1, схема 5 создаются посредством установки дополнительной перегородки и, таким образом, дополнительной камеры с продувкой внутри.

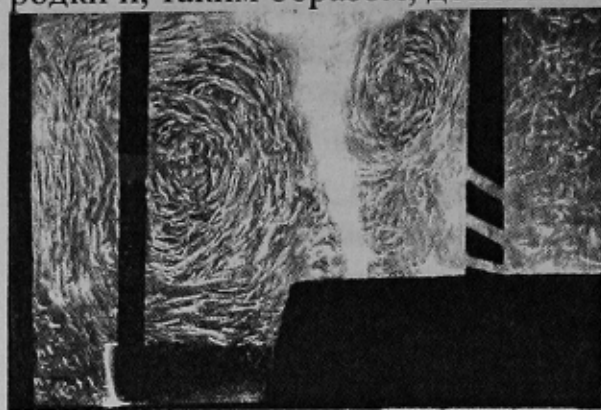


Рисунок 4 – Схема распространения потоков в раздаточной камере промежуточного ковша при продувке через протяженную многоканальную фурму, установленную перед стопором в сочетании с многоканальной перегородкой.

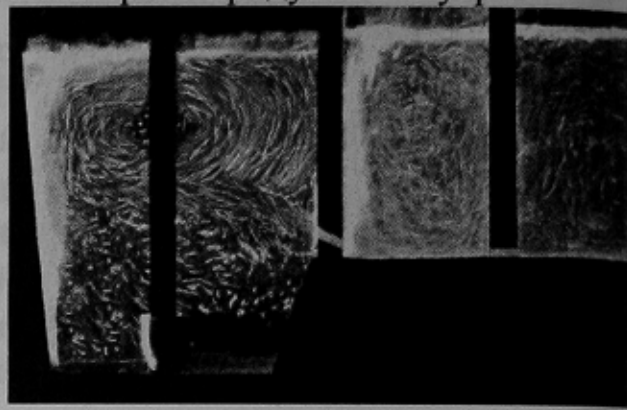


Рисунок 5 – Схема распространения потоков при установке дополнительной перегородки в сочетании с продувкой через многоканальную протяженную фурму.

В этом случае имитаторы НВ втягиваются в гидродинамические вихреобразные структуры, раскручиваются сначала в дополнительной камере, а затем в раздаточной. Все это существенно увеличивает: путь прохождения индикаторов НВ; время перемешивания, количество и время вступления в контакт с поверхностью шлаковой фазы.

Приведенные результаты моделирования, с учетом времени задержки имитаторов НВ в модели ПК и анализ образующихся гидродинамических структур, при различных вариантах сочетания фурм и перегородок, свидетельствуют о преимуществе схем, способствующих созданию многократного перемешивания (в том числе и под самой поверхностью) и увеличению пути прохождения имитаторов НВ с увеличением времени пребывания их в ПК.

На основании результатов моделирования была проведена статистическая оценка эффективности технологий рафинирования металла, основанных на приведенных схемах. На рис. 6 приведены данные на основе показателей содержания неметаллических включений в деформированном металле. Технологии рафинирования осуществлялись на слябовой МНЛЗ в конвертерном цехе МК «Азовсталь» в период с 1992 по 2007. Промышленные испытания технологий подтвердили достаточное согласование с результатами моделирования рис.6. Наиболее эффективные и приемлемые технологии внедрены на ОАО МК «Азовсталь» и ОАО МК «им. Ильича».

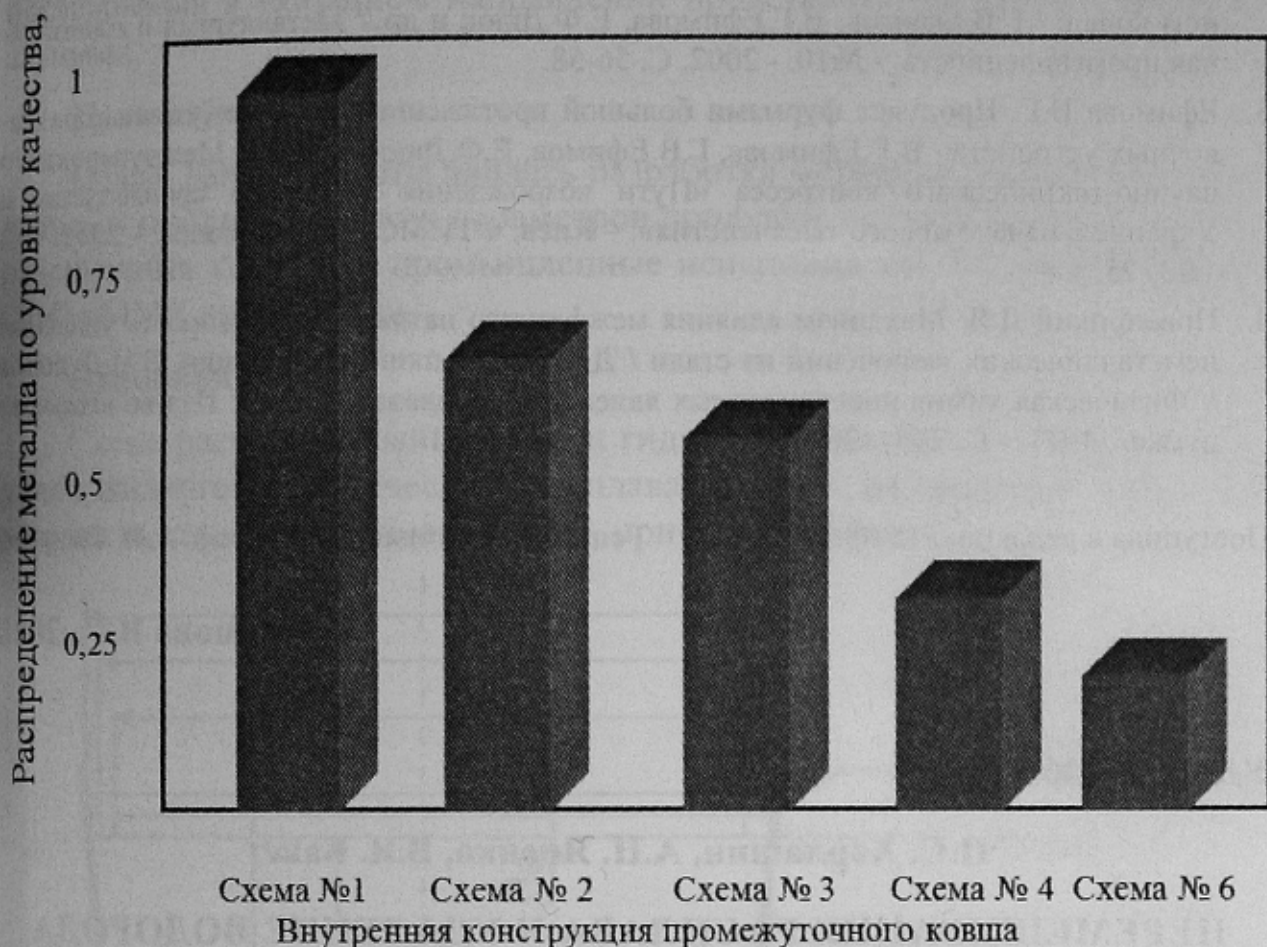


Рисунок 6 – Зависимость содержания неметаллических включений от типа применяемой технологии рафинирования (ОАО МК «Азовсталь»).

### Выводы

1. В результате проведенных теоретических исследований, гидромоделирования и промышленных испытаний была усовершенствована конструкция промежуточного ковша на ОАО МК «Азовсталь» и ОАО МК «им. Ильича».
2. Проведенные промышленные испытания показали, что для создания гидродинамических условий, способствующих удалению неметаллических включений, необходимо устанавливать дополнительную перегородку, которая образует реакционную камеру в сочетании с продувкой инертным газом.
3. Усовершенствованная конструкция промежуточного ковша позволяет снизить отсортировку листового проката по дефектам, выявляемым УЗК, на 30-40%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Процессы непрерывной разливки / Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаев А.А. и др. – Д: ДонНТУ, 2002. – 536 с.

2. Гидродинамические условия удаления неметаллических включений в промежуточном ковше / Г.В.Ефимов, В.Г.Ефимова, Е.Ф.Диук и др. // *Металлургия и горнорудная промышленность*. - №10. - 2002. С. 56-58.
3. Ефимова В.Г. Продувка фурмами большой протяженности промежуточных разливочных устройств / В.Г.Ефимова, Г.В.Ефимов, Е.Ф.Диук // *Труды Международного научно-технического конгресса «Пути возрождения литейного производства в Украине в начале нового тысячелетия»*. – Киев: ФТИМС НАН Украины, – 2001. – С. – 23 -25.
4. Поволоцкий Д.Я. Механизм влияния межфазного натяжения на скорость удаления неметаллических включений из стали / Д.Я.Поволоцкий, В. И.Рощин, В.И.Дудоров // *Физическая химия поверхностных явлений в расплавах*. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1971. - С. 265 – 268.

Поступила в редакцию 15.08.2010

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

© Ефимова В.Г., 2010

УДК 669.046.552.3

**П.С. Харлашин, А.Н. Яценко, В.Я. Бакст**

## **ПЕРЕМЕШИВАНИЕ РАСПЛАВА И УДАЛЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ ПРОДУВКЕ МЕТАЛЛА АРГОНОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ**

Составлена математическая модель расчета основных гидродинамических параметров продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах, включающая геометрические и физические параметры ковша и расплава с использованием чисел Рейнольдса, Фруда, Эйлера и Вебера. Выполнен анализ изменения содержания водорода в промышленных условиях.

Ключевые слова: аргон, сталеразливочный ковш, водород, продувка, металл

### **Введение**

Современные конъюнктурные требования к рынку металлопродукции в Украине и мире требуют не только строго соответствия выплавляемых сталей химическому составу, но и безусловное обеспечение показателей качества, в числе которых особое место занимает газонасыщенность металла водородом и загрязненность неметаллическими включениями.

Наряду с такими эффективными методами, какими являются различные виды вакуумирования, заслуживает внимания рассмотрение других, менее затратных технологических приемов, к которым относится продувка ванны инертными газами.

Известные по данному вопросу источники [1-3] содержат недостаточно полную, иногда противоречивую информацию, поэтому дальнейшие