

Исследование гидродинамических процессов в ковшах малой вместимости при различных способах перемешивания стали

Цупрун А.Ю.*, Штепан Е.В., Антыкуз О.В., Новикова Е.В.
* - [НПО «ДОНИКС»](#), г. Донецк
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

С применением методов физического моделирования выполнены исследования гидродинамических процессов в ковшах малой вместимости для случаев барботажного, электромагнитного и комбинированного перемешивания стали. Показана целесообразность применения для условий обработки металла в ковшах малой вместимости методов электромагнитного и комбинированного перемешивания.

На современном этапе развития сталеплавильного производства обязательной операцией внепечной обработки стали является перемешивание расплава в ковше. Известно, что в сочетании с перемешиванием скорость рафинирования металла существенно возрастает, становится возможным реализация эффективного дугового нагрева и вакуумной обработки раскисленной стали [1, 2]. Более того, путем перемешивания достигаются требуемые по условиям разлива степень однородности металла по температуре и химическому составу, которые в значительной мере определяют технико-экономические показатели процесса производства.

Перемешивание разделяют по способу организации на пневматическое (путем продувки инертным газом) и электромагнитное (за счет взаимодействий индуцируемого в жидкой стали электрического тока с внешним переменным электромагнитным полем) [3-5].

В металлургической практике принято считать, что для достижения максимальной равномерности химического состава целесообразнее использовать электромагнитное перемешивание, а для глубокого рафинирования (десульфурация и дегазация) - продувку аргоном [5, 6]. Однако, на наш взгляд, при выборе метода перемешивания металла в ковшах малой вместимости необходимо учитывать как общие, так и удельные затраты на перемешивания, а также технологические особенности внепечной обработки.

Исходя из вышесказанного, в данной работе с помощью физического моделирования исследовали влияние метода перемешивания на продолжительность усреднения металла и стойкость футеровки сталеразливочного ковша.

Исследования проводили на лабораторной установке, включавшей объемную и плоскую прозрачную модели 20-тонного сталеразливочного

ковша, изготовленные в масштабе 1:5 в соответствии с критериями гидродинамического подобия Фруда и гомохронности.

В ходе проводившихся лабораторных экспериментов имитировали продувку жидкой стали в ковше инертным газом через донную пористую пробку, а также электромагнитное перемешивание. В первом случае (рисунок 1а.) для возбуждения циркуляции модельной жидкости в нее через пористую пробку, вмонтированную в днище модели ковша, под избыточным давлением подавали воздух, поступающий по гибкому шлангу через ресивер от компрессора. Давление воздуха перед пробкой и его расход контролировали по показаниям манометра и ротаметра.

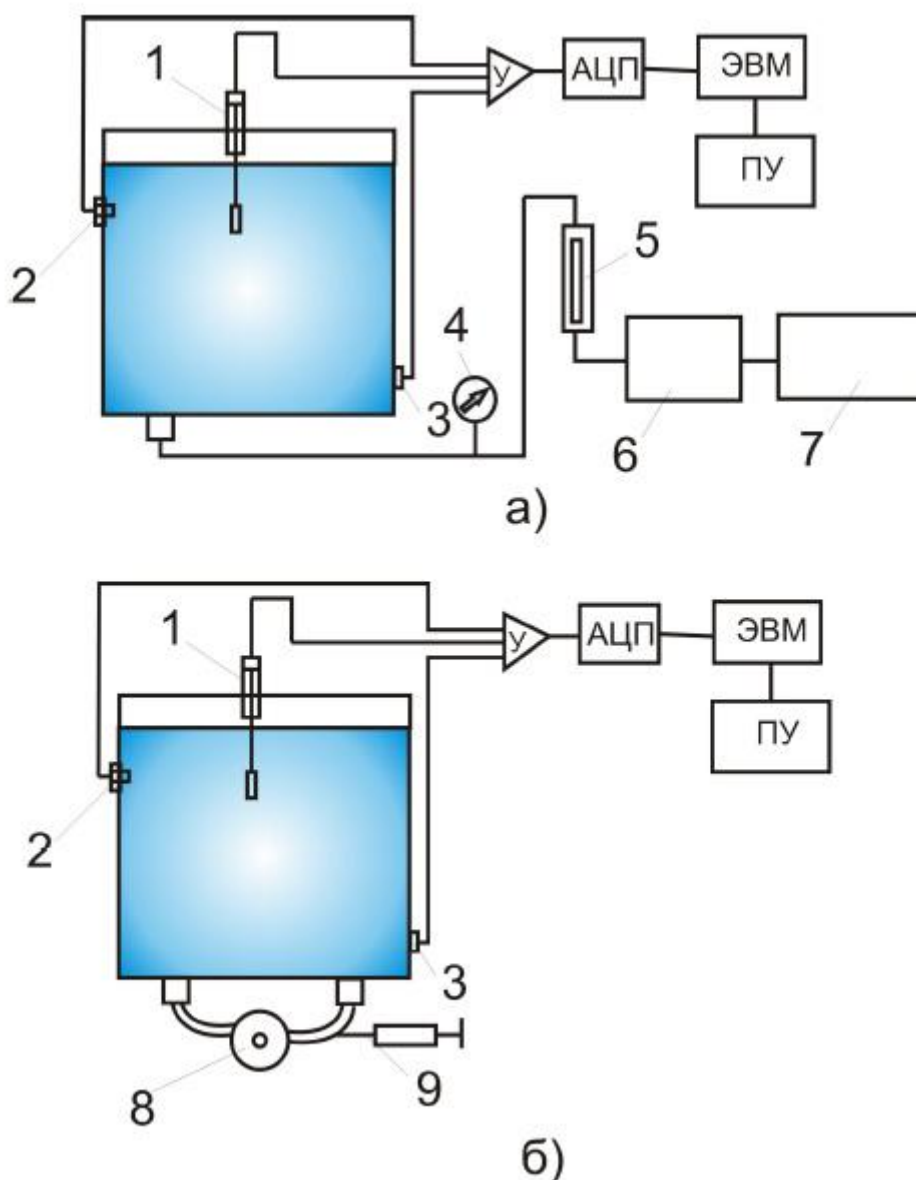


Рисунок 1 – Схемы лабораторных установок для имитации процессов донной продувки(а) и электромагнитного перемешивания (б) стали в разливочном ковше: 1 – зонд для измерения скорости жидкостных потоков; 2 и 3 – датчики контроля изменения концентрации солевого раствора; 4 –

манометр; 5 – ротаметр; 6 – ресивер; 7 – компрессор; 8 – центробежный насос; 9 – капиллярная трубка

Во втором случае циркуляционный контур жидкостных потоков, по форме характерный для электромагнитного способа перемешивания стали в ковше, обеспечивали за счет использования центробежного насоса, всасывающий и нагнетательный патрубки которого подключали к штуцерам, ввинченным в днище модели ковша на равном удалении от ее боковых стенок, как показано на рисунке 1б.

Также исследовали комбинированный процесс, когда для усреднения металла используется электромагнитное перемешивание совместно с дискретнымбарботажным.

Визуализацию потоков жидкости во время моделирования электромагнитного способа перемешивания обеспечивали мельчайшими пузырьками воздуха, подаваемого через капиллярную трубку во всасывающий патрубок центробежного насоса.

Схему картин жидкостных потоков в модели ковша, характерных для указанных способов перемешивания, проводили с помощью цифровой видеокамеры, установленной на штативе на некотором расстоянии от передней прозрачной стенки модели, освещаемой двумя мощными светильниками, расположенными к ней под углом 45°.

На рисунке 2 показаны графики зависимости времени гомогенизации модельной жидкости от затрачиваемой удельной мощности перемешивания при имитации продувки стали инертным газом, электромагнитного воздействия на нее в разливочном ковше и комбинированного способа продувки. Приведенные графики позволили сделать вывод о том, что эффективность перемешивания, обеспечиваемая данными способами, находится в прямой зависимости от подводимой извне к жидкостной системе энергии.

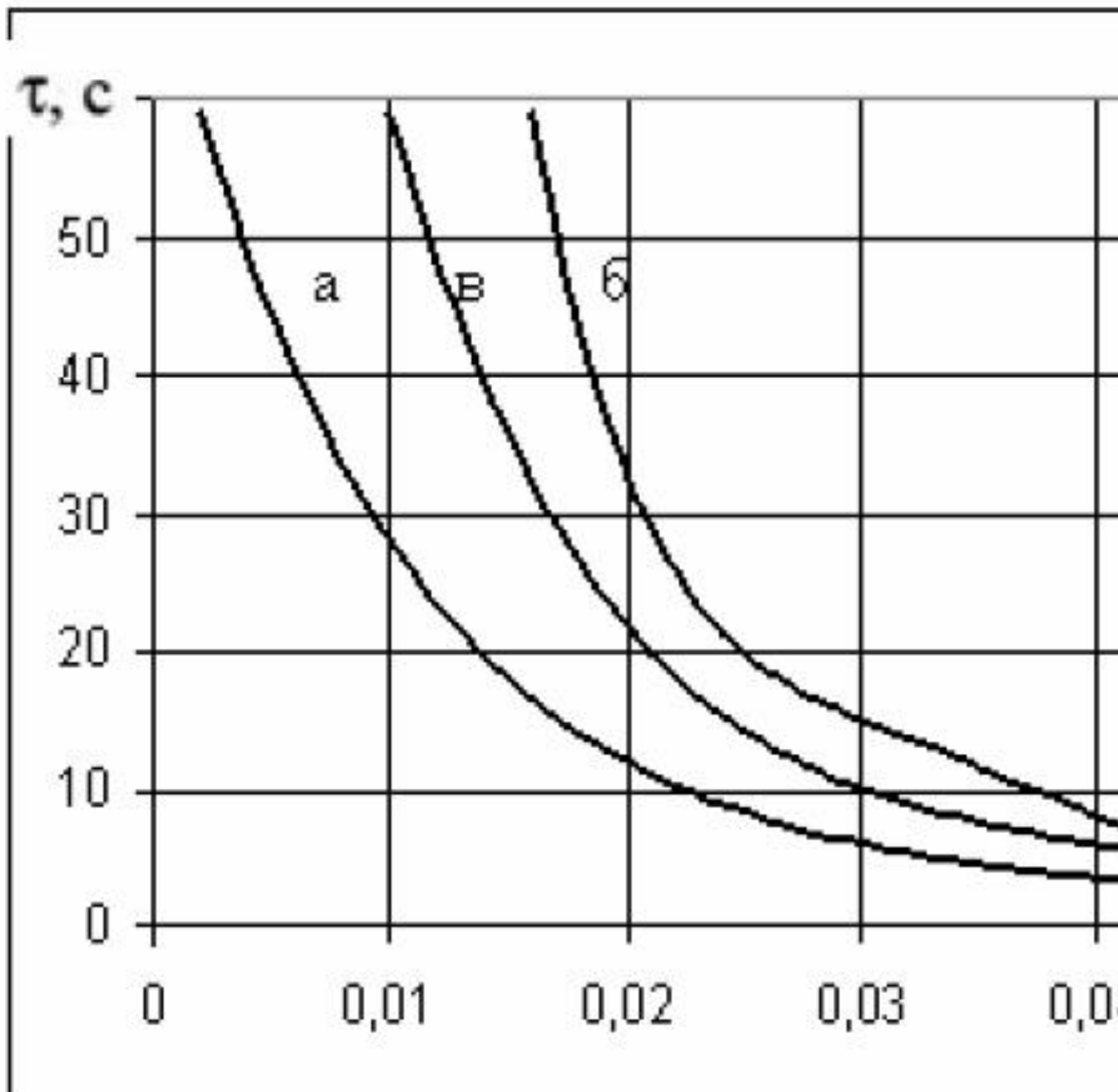
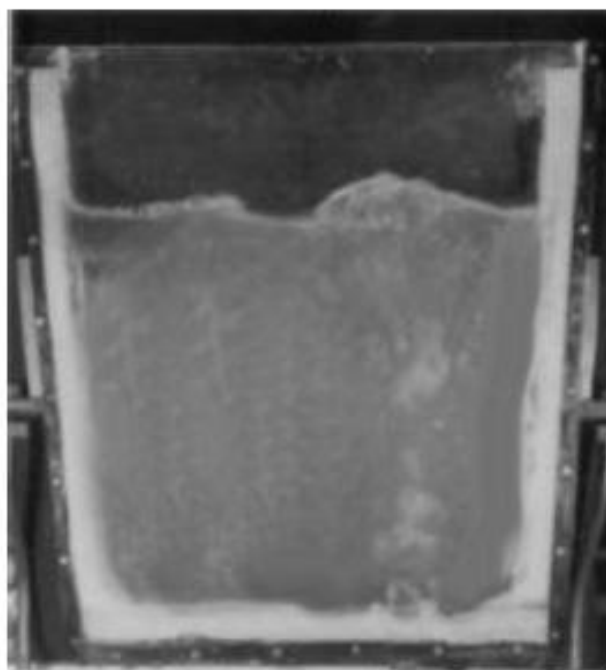


Рисунок 2 – Зависимость времени гомогенизации жидкости от удельной мощности перемешивания: а – при моделировании процесса донной продувки; б – при имитации электромагнитного перемешивания; в – при имитации комбинированного способа продувки

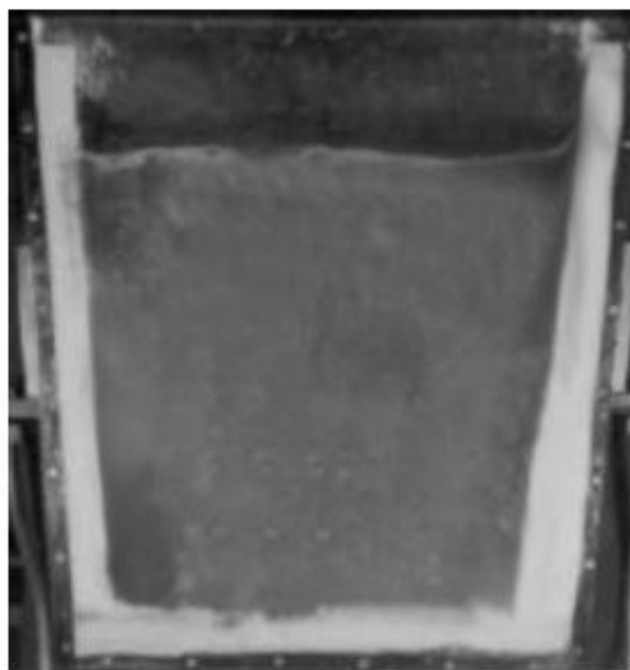
При этом заметная разница в продолжительности процесса гомогенизации модельной жидкости, проявляющаяся при малой удельной мощности перемешивания, практически нивелируется по мере увеличения затрат энергии на возбуждение циркуляции жидкостных потоков в ванне модели ковша.

При малой удельной мощности перемешивания продолжительность процесса гомогенизации модельной жидкости с использованием донной продувки в 3 – 4 раза ниже в сравнении с имитируемым электромагнитным воздействием, а в случае значительного увеличения количества подводимой энергии указанная разница во времени усреднения жидкостной системы по температуре и химическому составу сокращается до 1,2 – 1,5.

Наличие явно выраженных зон циркуляции жидкостных потоков при продувке стали в ковше вызывает интенсивный локальный износ футеровки, что нашло подтверждение в ходе моделирования процесса ее размывания. На рисунке 3 приведены фотографии плоской модели ковша и характер изменения конфигурации слоя материала, имитирующего футеровку, в зонах с различной интенсивностью циркуляции жидкости. Максимальный износ слоя материала (застывший раствор тиосульфата натрия), предварительно наносившейся на стенки модели ковша, наблюдали в областях с высокой скоростью движения циркулирующей жидкости. Наибольшая неоднородность износа футеровки наблюдалась при барботажном перемешивании металла. Наиболее изношенными в этом случае следует считать зоны действия интенсивных циркуляционных потоков и зону продувочного блока.



а



б

Рисунок 3 – Картины износа футеровки при моделировании процессов донной продувки (а), электромагнитного перемешивания (б) стали в разливочном ковше и комбинированного перемешивания (в)

В случае моделирования электромагнитного перемешивания наиболее интенсивно изнашивалась футеровка в зоне индуктора. В случае

комбинированного перемешивания наблюдалась наиболее благоприятная картина износа футеровки. Однако такой способ перемешивания представляется более дорогостоящим и его использование возможно при более детальном исследовании процессов взаимодействия потоков металла с газожидкостной составляющей.

Таким образом, для условий внепечной обработки стали в ковшах малой вместимости рекомендуется применять метод электромагнитного перемешивания, при перемешивании стали в ковшах малой вместимости. Достоинства донной продувки расплава инертным газом через пористые пробки могут быть реализованы в полной мере только при обеспечении рациональных режимов подвода газообразного энергоносителя к жидкой ванне, к которым следует отнести комбинирование такого метода продувки с электромагнитным перемешиванием.

Литература

1. **Металлургические мини-заводы / А.Н.Смирнов, В.М.Сафонов, А.Ю.Цупрун, Л.В.Дорохова. - Донецк: Норд-Пресс, 2005. - 469 с.**

2. **Гутри Р.И. Физико-химические и гидродинамические аспекты легирования расплавов методом вдувания порошков // Инжекционная металлургия'80. - М.: Металлургия, 1982. - С.75-92.**

3. **Sahai Y., Guthrie R.I.L, Hydrodynamics of gas stirred melts. Axisymmetric Flows. // Metallurgical Transactions. 1982. 13B - P.203-211.**

4. **Гридин С.В., Цупрун А.Ю., Минц А.Я. Математическое и физическое моделирование перемешивания металла в ковше при донной продувке аргоном // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002.- №10. - С.110-114.**

5. **Шалимов А.Г. Анализ эффективности перемешивания металл в ковше на основе новых шведских разработок // Сталь. - 2004. - №1. -С.25-30.**

6. **Кодак А.В., Кренделев В.Н., Демьяненко А.Г. Технологические особенности внепечной обработки электростали на ММЗ «ИСТИЛ (Украина)». Металлургическая и горнорудная промышленность. 2003. - №8 - с. 58-63.**

© Цупрун А.Ю., Штепан Е.В., Антыкуз О.В., Новикова Е.В.