

кращение затрат на потребленную реактивную электроэнергию — на 15–25 %, повышение производительности — на 10–12 %, при этом срок окупаемости капитальных вложений не превышает 4 лет.

#### Список литературы

1. Адати, Т. Сверхмощная 420-тонная электродуговая печь компании Tokyo Steel, Япония / Т. Адати, Р. Селлан // *Металлургическое производство и технология*. — 2012. — № 2. — С. 8–17.
2. Пат. 124027 Украина. МПК Н 05 В 7/144. Система электрооживления багатоелектродной дуговой печи / заявники та патентовласники Кухарев О. Л., Ковальчук А. О. — № u201711369 ; заявл. 20.11.2017 ; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5. — 6 с.
3. The Peculiarities of Convective Heat Transfer in Melt of a Multiple-Electrode Arc Furnace / A. Kukharev, V. Bilousov, E. Bilousov, V. Bondarenko // *Metals*. — 2019. — № 9. — С. 1174.
4. Кухарев, А. Л. Выбор рациональных энергетических параметров многоэлектродных электропечных установок / А. Л. Кухарев // *Вестник Донецкого национального университета*. Серия Г: Технические науки. — Донецк : ДонНУ, 2020. — № 1. — С. 59–71.

УДК 669.046.516

**Куберский С. В.**

*к.т.н., проф.,*

**Федотов О. В.**

*ст. преп.,*

**Завгородний С. Р.**

*магистрант*

*ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», г. Алчевск, ЛНР*

#### **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ РАСПЛАВА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

*На физической модели промежуточного ковша МНЛЗ, оборудованного электромагнитным перемешивателем, исследовано влияние интенсивности электромагнитных воздействий на скорость потоков, образующихся при переливе расплава из активной в миксерную зону.*

**Ключевые слова:** *промежуточный ковш, электромагнитное перемешивание, физическая модель, рафинирование стали.*

Для поддержания конкурентоспособности выпускаемой продукции качеству выплавляемой стали необходимо уделять повышенное внимание.

Предлагаемая технология обработки металла в промежуточном ковше (ПК), оборудованном электромагнитным перемешивателем (ЭМП), подразумевает собой дополнительную обработку расплава с целью улучшения качества непрерывнолитого слитка. Предполагается решение ряда задач, связанных с гомогенизацией расплава по химическому составу и температуре, возможностью подогрева расплава, рафинированием его от неметаллических включений. Модернизация промежуточного ковша с целью переноса части технологических операций, производимых на оборудовании участков внепечной обработки стали, является весьма актуальной задачей на сегодняшний день.

Для исследования электромагнитных воздействий на сталь в промежуточном ковше МНЛЗ была изготовлена двухкамерная холодная физическая модель ПК с активной (АЗ) и миксерной (МЗ) зонами в масштабе 1:10 (рис. 1), за основу которого был взят реальный ПК филиала №12 ЗАО «Внешторгсервис» массой 60 т и размерами 7000Ч1200Ч800 мм.

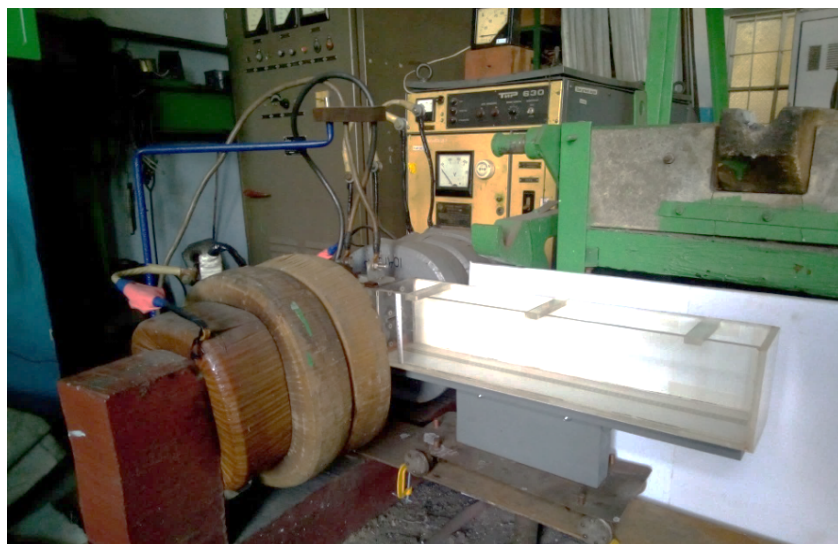


Рисунок 1 — Общий вид физической модели промежуточного ковша оборудованного электромагнитным перемешивателем

На данной физической модели, учитывая ранее проведенные опыты со сплавом Вуда и 23 % солевым раствором NaCl в дистиллированной воде, был проведен ряд экспериментов с использованием альтернативных модельных жидкостей в роли токопроводящих электролитов [1]. Наиболее оптимальной для моделирования гидродинамики ПК жидкостью был выбран менее агрессивный по отношению к материалу используемых электродов 10 % водный раствор NaCl плотностью  $1,07 \text{ г/см}^3$  [2]. Использование этого имитатора позволило исключить вскипание электролита в процессе моделирования и обеспечило визуальное наблюдение за гидродинамикой потоков в ванне ПК.

С целью определения скорости потока, переходящего из активной зоны ПК в миксерную, на стенках модели были выполнены измерительные шкалы с ценой деления 1 мм. Для визуального наблюдения за характером потока и определения его скорости электролит подкрашивался водным раствором пищевого красителя, который подавался в активную зону ПК непосредственно к нижнему переливному каналу. Процесс обработки фиксировался видео камерой с последующей обработкой отснятого материала в видео редакторе VideoPad.

Для повышения точности проведенных замеров все опыты проводились по три раза на свежих электролитах. Полученные в ходе экспериментов данные представлены в таблице 1.

На рисунках 2 и 3 показано влияние силы тока на обмотках электромагнита и электродах на скорость истечения электролита через нижний переливной канал при моделировании электромагнитного воздействия на расплав в промежуточном ковше.

Анализ полученных зависимостей показал, что при увеличении силы тока на обмотках электромагнита и на электродах в активной зоне модели ПК скорость потока модельной жидкости увеличивается. Причем, вид зависимостей позволяет условно разбить полученные экспериментальные данные на три диапазона (1-й — 2–10 А, 2-й — 10–20 А, 3-й — 20–100 А) характеризующихся различной степенью прироста удельного значения скорости потока на 1 А. Расчеты абсолютного и удельного прироста скорости характерные для выделенных диапазонов представлены в таблице 2.

Зависимость скорости потока от силы тока на электромагните носит нелинейный характер. Для 1 и 2 диапазонов изменения силы тока наблюдаются более высокие значения прироста скорости потока, которые в зависимости от силы тока на электродах находятся в пределах  $0,0024\text{--}0,0059 \text{ м/с/А}$ . Для диапазона силы тока 20–100 А этот прирост значительно меньше и составляет немногим более  $0,001 \text{ м/с/А}$ . Изменение силы тока на электромагните вызывает пропорциональное изменение скорости потока и регулировать ее можно силой тока на электродах.

Таблица 1 — Величина экспериментальных скоростей потока модельного раствора (м/с) при различных значениях силы тока на электромагните и электродах

Ток на обмотках электромагнита $I_{ЭМ}$ , А	Электрический ток на электродах в активной зоне $I_{Эл}$ , А										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	Скорость потока, м/с										
2	0,008	0,011	0,014	0,016	0,016	0,018	0,021	0,024	0,027	0,033	0,033
3	0,008	0,012	0,014	0,018	0,016	0,018	0,022	0,024	0,029	0,035	0,035
5	0,022	0,023	0,025	0,025	0,025	0,025	0,027	0,030	0,034	0,036	0,038
10	0,027	0,030	0,030	0,034	0,038	0,043	0,048	0,059	0,065	0,070	0,074
20	0,056	0,061	0,066	0,076	0,083	0,094	0,101	0,116	0,119	0,123	0,133
30	0,065	0,074	0,080	0,094	0,103	0,116	0,121	0,128	0,135	0,141	0,151
40	0,079	0,085	0,092	0,108	0,117	0,126	0,134	0,143	0,155	0,160	0,171
50	0,090	0,096	0,108	0,124	0,129	0,138	0,145	0,154	0,166	0,171	0,18
60	0,100	0,109	0,117	0,136	0,143	0,149	0,158	0,165	0,173	0,184	0,193
70	0,108	0,117	0,129	0,148	0,155	0,16	0,168	0,176	0,188	0,196	0,206
80	0,119	0,129	0,138	0,161	0,168	0,175	0,184	0,19	0,196	0,203	0,217
90	0,128	0,141	0,150	0,173	0,180	0,188	0,192	0,197	0,204	0,212	0,23
100	0,144	0,155	0,166	0,187	0,192	0,196	0,203	0,209	0,214	0,223	0,242

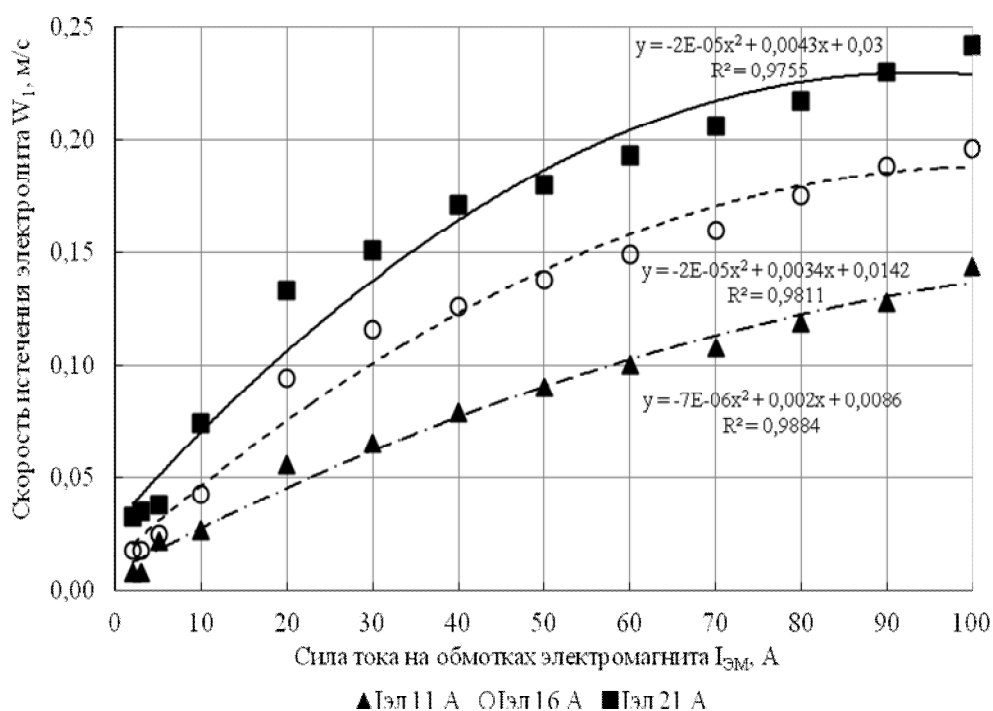


Рисунок 2 — Зависимость скорости истечения электролита через нижний переливной канал от силы тока на обмотках электромагнита

Таким образом, для различных параметров источников питания в соответствии с полученными данными управлять скоростью потока можно как силой тока на электродах, так и силой тока на электромагните. Кроме того, необходимо учитывать, что в диапазоне 20–100 А сила тока на электромагните слабо влияет на прирост скорости потока и управлять ею предпочтительнее изменением силы тока на электродах.

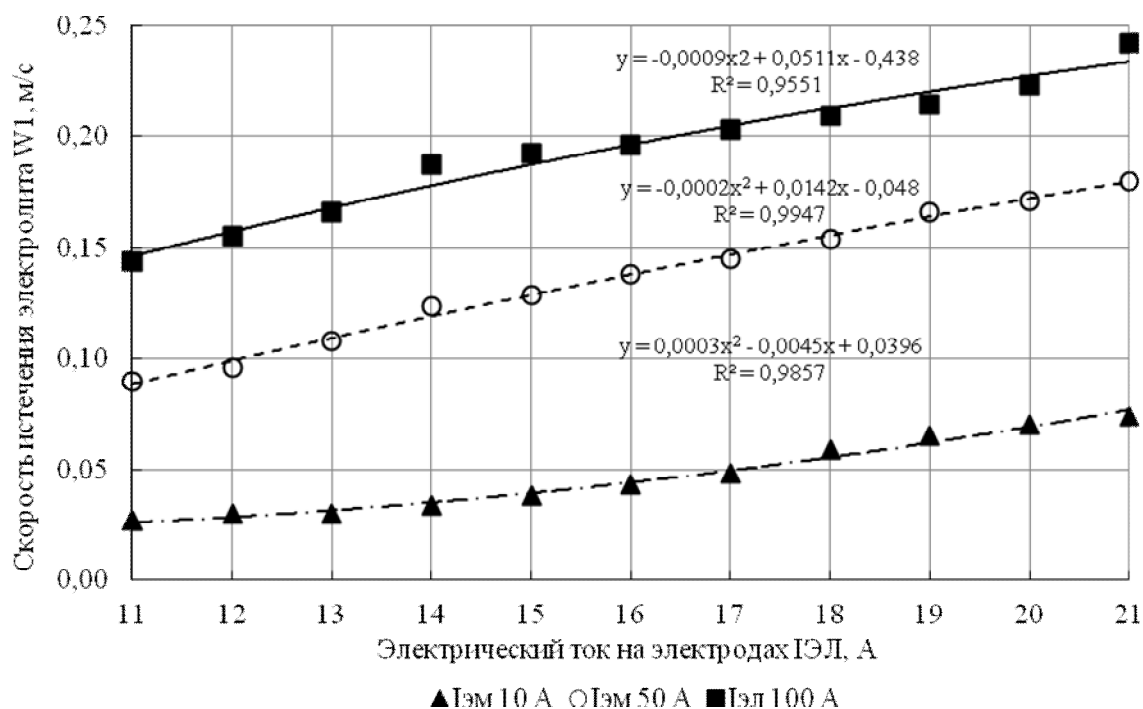


Рисунок 3 — Зависимость скорости истечения электролита через нижний переливной канал от силы тока на электродах в активной зоне

Таблица 2 — Абсолютный и удельный прирост скорости потока для различных диапазонов силы тока на электромагните

Ток на электродах $I_{эл}$ , А	Сила тока на электромагните $I_{эм}$ , А					
	2–10		10–20		20–100	
	Прирост скорости					
	абсолютный, м/с	удельный, м/с/А	абсолютный, м/с	удельный, м/с/А	абсолютный, м/с/с	удельный, м/с/А
11	0,019	0,0024	0,029	0,0029	0,088	0,0011
16	0,025	0,0031	0,051	0,0051	0,102	0,0013
21	0,041	0,0051	0,059	0,0059	0,109	0,0014

В ходе последующих исследований необходимо проанализировать влияние параметров электромагнитного перемешивания на эффективность удаления неметаллических включений и образование застойных зон в промежуточном ковше.

### Список литературы

1. Федотов, О. В. Исследование параметров электромагнитного перемешивания на физической модели промежуточного ковша МНЛЗ / О. В. Федотов, С. В. Куберский, С. Р. Завгородний // Актуальные проблемы металлургии чугуна и стали : сб. тезисов докл. науч.-практ. конф. / под общ. ред. С. В. Куберского. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — С. 16–19.
2. Измайлов, Н. А. Электрохимия растворов / Н. А. Измайлов. — 2-е изд. — М. : Химия, 1966. — 576 с.