

Федотов О. В.
ст. преп.,
Куберский С. В.
к.т.н., проф.,
Завгородний С. Р.
магистрант

ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», г. Алчевск, ЛНР

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

Определено влияние электрических и магнитных параметров электромагнитного перемешивателя на скорость движения потоков жидкого металла в миксерной зоне физической модели промежуточного ковша МНЛЗ.

Ключевые слова: непрерывная разливка, промежуточный ковш, электромагнитный перемешиватель, активная зона, миксерная зона, сплав Вуда.

На современном этапе развития технологии выплавки и непрерывной разливки стали особое место занимают высокие требования, предъявляемые к качеству металлопродукции. Эти требования в цепи производства непрерывнолитой заготовки может обеспечить обработка стали в промежуточном ковше (ПК) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Наиболее современной технологией обработки расплава в ПК, позволяющей решать технологические задачи, связанные с улучшением качества непрерывноразливаемой стали, является технология электромагнитного перемешивания [1].

Обработка стали в ПК с использованием различного рода электромагнитных воздействий на расплав предполагает решение целого ряда задач, связанных с усреднением расплава по химическому составу и температуре, возможностью подогрева обрабатываемой стали и рафинированием ее от неметаллических включений.

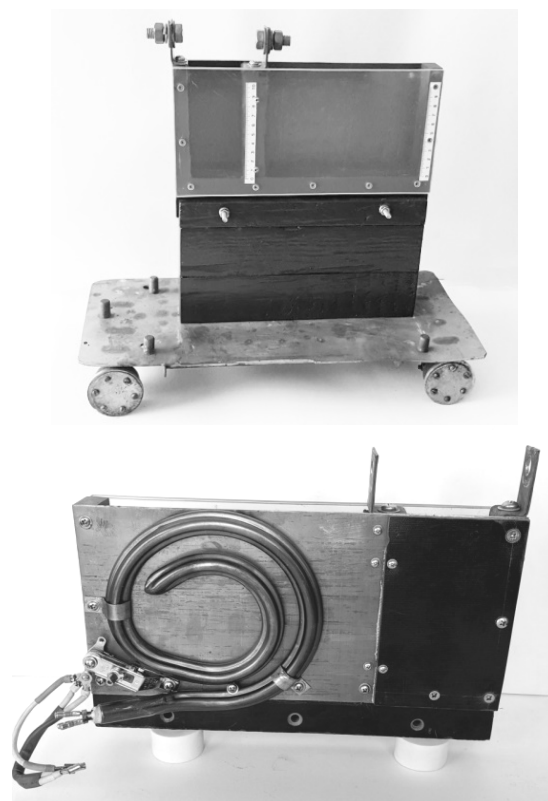
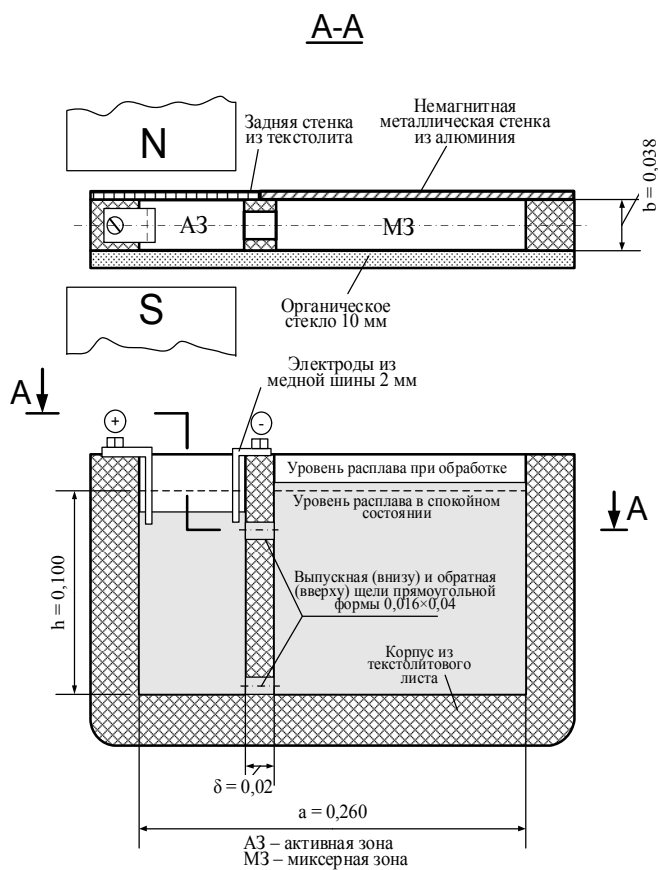
Технология электромагнитного воздействия на расплав может быть реализована в ПК, разделенном на активную и миксерную зоны [2]. Главными параметрами внешнего управления электромагнитным перемешиванием являются перекрещивающиеся сила постоянного электрического тока (I), подаваемого на электроды и проходящего через расплав, и сила магнитной индукции (B) в магнитопроводе электромагнитного перемешивателя (ЭМП) (рис. 1, а).

В настоящем исследовании одной из поставленных задач является изучение возможности внешнего воздействия на степень перемешивания расплава в ПК. Поставленная задача предполагает исследование влияния на гидродинамику расплава возможности наложения на жидкую металлическую ванну постоянного электрического тока и электромагнитного поля, а также установление характера образующихся циркуляционных потоков в ПК и возможность управления ими.

Для выполнения поставленной задачи была создана физическая модель ПК с отъемной частью, располагаемой в зоне электромагнитного перемешивания. За прототип взят ПК, использующийся на МНЛЗ филиала №12 ЗАО «Внешторгсервис». Физическая модель выполнена в масштабе 1:40 с размерами: миксерной зоны — 175×30×120 мм, дополненной активной зоны — 65×30×120 мм (рис. 1, б).

В качестве силовых установок, обеспечивающих работу ЭМП, использовались сварочный источник питания ТИР-630, подающий постоянный электрический ток в расплав на клеммы в активную зону и станция управления ТЕ8-32, способная генерировать максимальный ток на катушках магнитопровода 240 А. В качестве имитатора жидкого расплава использовался легкоплавкий четырехкомпонентный сплав Вуда, содержащий 2,5 % Sn; 25 % Pb; 50 % Bi; 12,5 % Cd с температурой плавления 65–70 °С.

В результате проведенных экспериментов была установлена зависимость между электромагнитными параметрами внешнего воздействия и высотой подъема расплава в миксерной зоне над уровнем расплава в спокойном состоянии. Данные приведены в таблице 1.



a

б

Рисунок 1 — Эскиз (a) и общий вид (б) модели ПК для электромагнитной обработки расплава

Таблица 1 — Экспериментальные данные регулирования высоты подъема расплава h

I, A	I _{ЭМ} , A	B, Тл	U _{ЭМ} , В	h, мм	I, A	I _{ЭМ} , A	B, Тл	U _{ЭМ} , В	h, мм
12	10	0,111	3	0,1	20	10	0,111	3	1,0
	20	0,231	9	0,5		20	0,231	9	1,5
	30	0,295	12	1,0		30	0,295	12	2,0
	40	0,351	15	1,5		40	0,351	15	2,5
	50	0,378	19	1,7		50	0,378	20	3,0
	60	0,419	21	1,9		60	0,419	23	3,7
	70	0,432	25	2,0		70	0,432	26	4,0
	80	0,453	29	2,5		80	0,453	31	4,7
	90	0,475	32	2,5		90	0,475	34	5,0
	100	0,485	35	2,5		100	0,485	41	5,2
15	10	0,111	3	0,5	25	10	0,111	3	2,0
	20	0,231	9	1,0		20	0,231	12	2,8
	30	0,295	12	1,5		30	0,295	14	3,5
	40	0,351	15	1,7		40	0,351	16	4,0
	50	0,378	19	2,0		50	0,378	20	4,5
	60	0,419	22	2,5		60	0,419	24	5,0
	70	0,432	25	2,5		70	0,432	26	5,2
	80	0,453	30	3,0		80	0,453	30	5,5
	90	0,475	33	3,0		90	0,475	34	5,7
	100	0,485	39	3,5		100	0,485	41	6,0

На основании полученных данных получена зависимость высоты подъема в миксерной зоне от силы электрического тока в ЭМП при различных режимах электрического тока, проходящего через расплав. Для наиболее точного описания использована полиномиальная зависимость, что подтверждается высокой достоверностью аппроксимации (рис. 2).

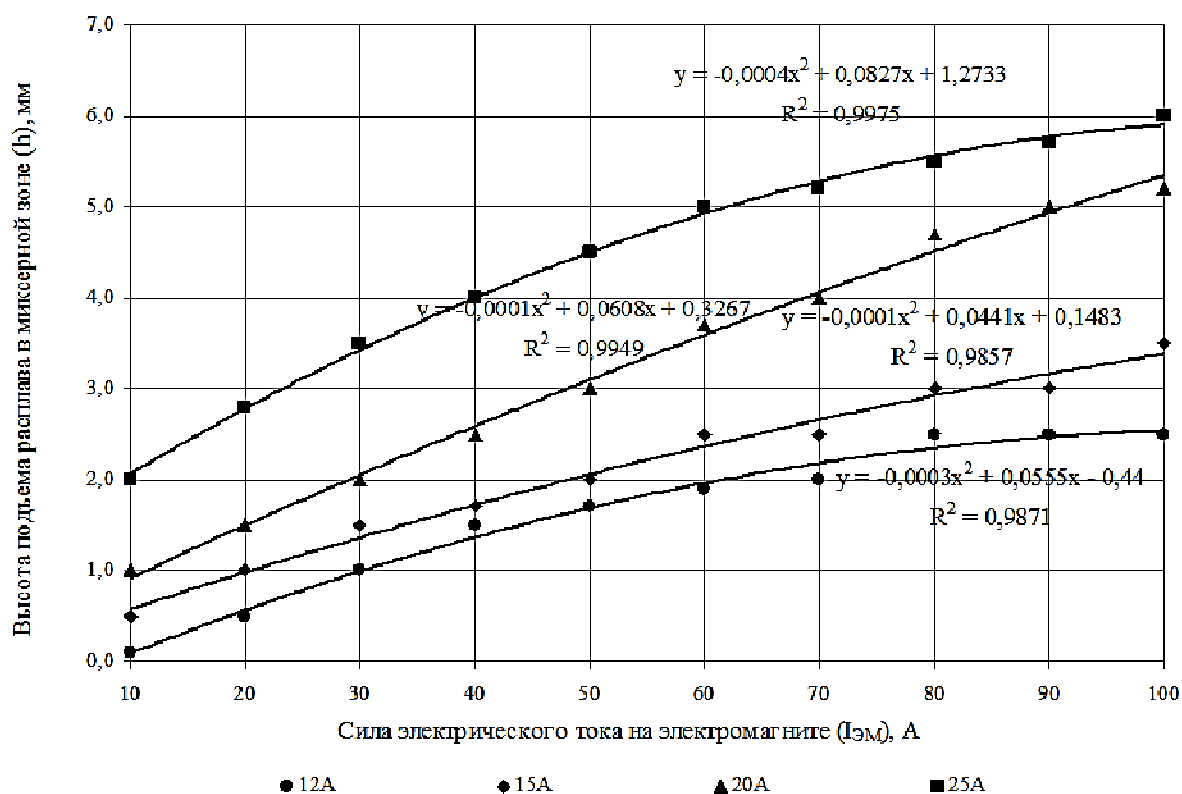


Рисунок 2 — Зависимость высоты подъема расплава в миксерной зоне ПК от силы электрического тока в электромагните

Параллельно был произведен гидравлический расчет физической модели [3]. Получены необходимые зависимости между параметрами электромагнитного перемешивания:

$$g_e = 0,0572 \cdot B \cdot I, \text{ м/с}^2,$$

$$W_1 = 0,066 \cdot \sqrt{B \cdot I}, \text{ м/с},$$

$$W_2 = 0,033 \cdot \sqrt{B \cdot I}, \text{ м/с},$$

$$W_x = 0,005 \cdot \sqrt{B \cdot I}, \text{ м/с},$$

где g_e — электромагнитное утяжеление, м/с²;

B — сила магнитной индукции в магнитопроводе, Тл;

I — сила тока, подаваемого на расплав, А;

W_1 — скорость потока расплава в нижнем канале, м/с;

W_2 — скорость потока расплава в верхнем (обратном) канале, м/с;

W_x — скорость потока расплава в промежуточном ковше (миксерной зоне), м/с.

По экспериментальным данным и зависимостям, полученным в результате гидравлического расчета физической модели, при увеличении уровня расплава в миксерной зоне на 2 мм выбраны и рассчитаны параметры электромагнитной обработки (табл. 2).

Таблица 2 — Параметры электромагнитной обработки расплава при увеличении уровня расплава в миксерной зоне на 2 мм

Параметры электромагнитной обработки	Сила электрического тока в расплаве (I), А			
	12	15	20	25
Сила электрического тока в катушках ЭМП ($I_{ЭМ}$), А	60	50	30	10
Сила магнитной индукции в ЭМП (B), Тл	0,419	0,378	0,295	0,111
Напряжение на катушках ЭМП ($U_{ЭМ}$), В	21,0	19,0	12,0	3,0
Высота подъема расплава в миксерной зоне (h), мм	2	2	2	2
Произведение (B·I), Тл·А	5,028	5,67	5,9	2,775
Скорость потока в миксерной зоне (W_x), м/с	0,013	0,014	0,015	0,010
Электромагнитное утяжеление (g_c), м/с ²	0,288	0,324	0,337	0,159
Скорость потока в нижнем переливном канале (W_1), м/с	0,280	0,298	0,304	0,208
Скорость потока в верхнем переливном канале (W_2), м/с	0,141	0,150	0,153	0,105

Выводы. Из-за высокой плотности и высокого поверхностного натяжения поверхность расплава в миксерной зоне, покрытая тонкой пленкой окислов, остается почти неподвижной, поэтому полученная расчетным путем скорость потока в ПК пока не подтверждена экспериментально. В дальнейшем планируется провести исследования на маловязкой и прозрачной жидкости с добавлением красителей. В качестве имитатора расплава может быть использован электролит (рапа, раствор поваренной соли в воде). В настоящее время для запланированных исследований изготавливается модель ПК с отъемной частью для электромагнитного перемешивания в масштабе 1:15. за прототип взят ПК, использующийся на МНЛЗ Филиала №12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС».

Список литературы

1. Смирнов, А. Н. Современный прогресс и перспективы развития процессов непрерывной разливки / А. Н. Смирнов // Сталь. — 2005. — № 12. — С. 29–32.
2. Куберский, С. В. Разработка физической модели промежуточного ковша МНЛЗ с электромагнитным перемешиванием расплава / С. В. Куберский, О. В. Федотов, О. В. Стоцкая // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сб. тезисов докладов IV Междунар. науч.-технич. конф. (г. Алчевск, 17 октября 2019 г.), ДонГТУ. — Алчевск, 2019. — С. 130–133.
3. Куберский, С. В. Гидравлический расчет промежуточного ковша МНЛЗ, оборудованного электромагнитным перемешивателем / С. В. Куберский // Сборник научных трудов ДонГТУ — 2013. — № 40. — С. 87–96.

© Федотов О. В.

© Куберский С. В.

© Завгородний С. Р.

Fedotov O V., Ph.D in Engineering Kuberskiy S. V., Undergraduate Zavgorodniy S. R.
(SEI HPE LPR “DonSTU”, Alchevsk, LPR)

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC MIXING PARAMETERS ON THE PHYSICAL MODEL OF THE TUNDISH CONTINUOUS CASTING MACHINE

The influence of the electric and magnetic parameters of the electromagnetic stirrer on the velocity of liquid metal flows in the mixing zone of the physical model of the tundish continuous casting machine.

Keywords: continuous casting, tundish, electromagnetic stirrer, core, mixer zone, Wood alloy.