

Н. М. Переворочаев, Б. П. Крикунов

Филиал «Металлургический комплекс» ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод», Донецк

## Совершенствование электрических и технологических режимов доводки металла на установке ковш-печь\*

Проведены исследования по совершенствованию электрических и технологических режимов доводки металла на установке ковш-печь (УКП). Показано, что более эффективным и экономичным является электрический режим ведения доводки, когда электродуговой нагрев металла в начальный период обработки производят вместо 1-й на 3-6 ступенях напряжения. При этом экономия электроэнергии достигается без увеличения длительности доводки и снижения производительности. Оптимизированы расходы: извести для обеспечения необходимой толщины шлака в соответствии с установленной длиной дуги; флюсов для различных условий фактического формирования шлака и магнезитового порошка при наводке рафинирующего шлака.

**Ключевые слова:** внепечная обработка, дуговой нагрев, зеркало металла, электрический режим, технологический режим, шлакообразующие материалы, печной трансформатор, длина дуги, ступени напряжения, толщина слоя шлака, оксид магния, магнезитовый порошок, рафинировочный шлак

Современная технология сталеплавильного передела предусматривает обязательное использование внепечной обработки на установках ковш-печь (УКП) или доводки металла (УДМ), а ее результаты определяют многие качественные и экономические характеристики металлопродукции.

Доводка металла в металлургическом комплексе ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод» (ДМЗ) производится на установке ковш-печь производства фирмы «VAI Fuchs». Установка введена в эксплуатацию в 2003 г.

Технология доводки металла на УКП отработана практически на всех металлургических заводах и является стандартной. Вместе с тем каждое предприятие имеет свои особенности. Ниже изложен практический опыт новых подходов к решению технологических и других вопросов в области внепечной обработки металла на УКП нашего сталеплавильного комплекса.

В общей эффективности работы УКП большое значение имеют параметры расхода электроэнергии, расхода и порядка ввода шлакообразующих материалов.

Расход электроэнергии в большой мере зависит от оптимизации электрического режима нагрева. Печной трансформатор имеет несколько ступеней напряжения. Поскольку нагрев металла производится током, а напряжение на электродах характеризует длину дуги, рекомендуется переходить на пониженную по напряжению ступень, увеличивая в пределах возможного силу тока. В этом случае ускоряется нагрев металла, уменьшается длина дуги, что увеличивает вероятность работы с закрытой дугой. При этом снижаются потери тепла, отбираемые крышкой свода.

При формировании рафинировочного шлака необходимо обеспечить заданную толщину слоя шлака на зеркале металла, соответствующую установленной длине дуги. В этих условиях достигается оптимальная скорость нагрева металла. Ввод шлакообразующих материалов необходимо выполнить как можно раньше.

В рафинировочном шлаке в обязательном порядке должен присутствовать оксид магния. При выплавке стали в сталеплавильных печах содержание MgO в шлаке может составлять до 15 % и более, а так как удалить весь шлак из ковша невозможно, то определенная доля оксида магния переходит в рафинировочный шлак.

В то же время известно, что жидкоподвижные основные шлаки разъедают футеровку шлакового пояса. Во избежание этого в ковши после выпуска стали или на ковше-печи присаживают магнезитовый порошок, чтобы уменьшить воздействие шлака на футеровку. Установлено [1], что в основных шлаках оксид магния при содержании (в %) до 5 разжижает шлак, в пределах 6-8 практически не изменяет вязкость шлака, а выше 10 – загущает шлак. Рекомендуется иметь в рафинировочном шлаке 6-8 % MgO, а при высоком его содержании в печном шлаке – до 10 %.

На УКП сталеплавильного цеха со дня ее ввода в эксплуатацию предусматривалось начинать дуговой нагрев на 1-й ступени напряжения, присаживать шлакообразующие материалы через 3-5 мин после включения установки и использовать в составе шлакообразующих материалов магнезио-содержащие (обоженный доломит или магнезит).

Комплекс вышеперечисленных вопросов предопределил необходимость проведения работ по поиску и опробованию новых рациональных электрических и технологических режимов обработки стали на УКП для оптимизации расхода электроэнергии и шлакообразующих материалов.

### *Выбор ступени напряжения в начале электродугового нагрева*

Ковш-печь является агрегатом, в котором подаваемая электрическая энергия преобразуется в тепловую посредством электрической дуги. При этом часть энергии поступает непосредственно за счет дуги, а часть выделяется вследствие омического сопротивления жидкой стали (шлака).

\*В работе принимали участие А. Ю. Карибов, М. В. Рыжов

Важной энергетической и технологической характеристикой ковша-печи является длина дуги при стационарном режиме горения. Температура дуги составляет порядка 4500-6000 °С, то есть газы, попадающие в зону действия дуги, находятся в виде плазмы. Длина дуги характеризует максимальное для данного напряжения расстояние между нижним концом электрода и зеркалом металла, обеспечивающее устойчивое горение.

Для обеспечения устойчивого горения дуги и уменьшения теплотерь на нагрев крышки свода и с отходящими газами толщина слоя шлака должна быть не меньше длины дуги. Оптимальная толщина шлакового покрова по данным [2] должна составлять 1,2-1,25 длины дуги.

В случае если производится кратковременный нагрев металла и отсутствует необходимость проведения десульфурации металла, толщина шлака должна быть не менее 0,8 длины дуги. Если толщина шлакового покрова более 1,6-1,8 длины дуги, часть проходящего через электроды тока замыкает их через шлак, вместо того чтобы проходить через электрические дуги и жидкий металл. При этом шлак резко перегревается, и его температура может достигнуть 1800-1900 °С.

В настоящее время на УКП используются рекомендации соответствия длины дуги рабочей ступени напряжения, разработанные Центральной энергетической лабораторией завода (табл. 1). В таблице также приведены расчетные значения рекомендуемых толщин шлакового покрова в ковше.

В связи с тем, что дуговой нагрев производится в основном на первой ступени напряжения печного трансформатора, оптимальная толщина шлакового покрова в ковше должна составлять в условиях УКП 140 мм.

В начале обработки металла на УКП на 20 плавках низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Таблица 1

**Рекомендуемое соотношение толщины шлакового покрова и длины дуги**

Рабочая ступень напряжения	Длина дуги, мм	Толщина шлакового покрова, мм $L_{необх}$		
		min	оптимальная	max
1	114	90	140	180
2	104	80	125	170
3	96	77	115	150
4	89	70	107	140
5	75	60	90	120
6	62	50	75	100

для определения массы шлака и толщины шлакового покрова отбирали пробы шлака до и после присадки шлакообразующих материалов. После определяли их химический состав. Фактическую толщину шлакового покрова до обработки определяли расчетом и путем замера замороженного шлака на погруженную в ковш кислородную трубку.

В табл. 2 представлены данные массы шлака и фактической толщины шлакового покрова в ковше до обработки на исследуемых плавках, а также фактическая масса шлакообразующих, присаживаемых в ковш по ходу обработки этих плавков. Из данных видно, что фактическая толщина шлака далека от оптимальной для 1-й ступени напряжения. При таком тонком слое шлака по технологическим соображениям рекомендуется работать на пониженных ступенях нагрева, чтобы обеспечить экономичность процесса.

Начинать электродуговой нагрев металла необходимо на той ступени напряжения, которая соответствует начальной толщине шлакового покрова. Это позволит защитить шлаковый пояс ковша и свод УКП от прямого воздействия дуги и постепенно, в течение 1-4 мин (скорость присадки извести – 130-150 кг/мин), перейти на первую ступень напряжения, что практически не отразится на средней скорости дугового нагрева металла.

Вышеприведенные данные и рассуждения указывали на необходимость апробирования электрического режима в начале обработки на более низкой ступени. Было предложено начинать электродуговой нагрев на третьей ступени напряжения и с началом дугового нагрева присаживать шлакообразующие материалы при отсутствии на поверхности металла по прибытии ковша на УКП сплошной корки шлака.

По предложенным режимам провели серию опытных плавков. В течение первых 5-10 мин работали на 3-й ступени напряжения. На большинстве плавков с началом дугового нагрева присаживали 300-500 кг шлакообразующих материалов.

Основные ежемесячно усредненные параметры плавков периода экспериментов и плавков по обычной технологии представлены в табл. 3.

Из полученных данных следует, что: среднее время под током на опытных и сравнительных плавках примерно одинаково и в среднем за сравнительные периоды составляет 29,4 и 30,2 мин соответственно; средняя условная скорость нагрева металла при обработке находится также на одном уровне, а месячные колебания составляет 2,07-2,03-1,91 °С/мин для опытных и 2,24-1,90 °С/мин для сравнительных периодов; общая длительность обработки в среднем за опытный период составляет 45,6 мин, за сравнительный – 47.

Таблица 2

**Масса шлака в ковше до обработки, присаживаемых шлакообразующих и расчетная толщина шлакового покрова\***

Масса шлака в ковше до обработки, кг	Толщина шлакового покрова до обработки, мм	Масса присаживаемых шлакообразующих, кг		
		алюмофлюс	известь	общее количество
900-2200 1420	50-114 80	124-500 243	300-1400 721	450-1600 964

\*В числителе указаны пределы колебаний, в знаменателе – средние значения

## Параметры опытных и сравнительных плавов

Месяц	Количество плавов	Производство, т	Выдержка до обработки, мин	Длительность обработки, мин	Время под током, мин	Расход электроэнергии, кВт·ч/пл	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Температура Me, °С			Средняя скорость нагрева металла, °С/мин
								на выпуске из МП	УКП		
									первый замер	после обработки	
Январь	435	66173	90,9	47	29,86	7923	52,08	1623	1524	1591	2,24
Февраль*	305	46264	81	46	29,45	7347	48,44	1624	1531	1592	2,07
Март*	457	70116	92	46	29,54	7530	49,08	1622	1528	1588	2,03
Апрель*	479	73620	89,7	45	29,30	7408	48,20	1620	1531	1587	1,91
Май	457	70114	102,8	47	30,47	7939	51,75	1620	1529	1587	1,9

\*опытный период

Вместе с тем удельный расход электроэнергии в период опытных режимов ниже, чем в периоды обычной технологии. Среднемесячный расход за опытный период составил (кВт·ч/т) 48,44-49,08-48,20, тогда как при обычных режимах – 52,08-51,75 и в среднем за сравниваемые периоды – 48,57 и 51,92 соответственно.

Таким образом, результаты апробирования опытного электрического режима в начале обработки и режима подачи в этот период шлакообразующих материалов показали возможность экономии электроэнергии без увеличения длительности обработки и снижения производительности.

Необходимо отметить, что, как правило, к 5-7-й минуте нагрева на поверхности металла в ковше на плавках с ранним вводом (одновременно с началом дугевого нагрева) шлакообразующих материалов формируется шлак, по толщине примерно равный длине дуги. Поэтому рекомендовано работать на 3-й ступени напряжения в начале обработки в течение первых 3-5 мин, а затем переходить на 1-ю ступень, более высокую.

В настоящее время электрический режим обработки металла отработан. Электродуговой нагрев металла начинают на 3-6 ступенях напряжения печного трансформатора. Переключение на 2-1 ступени напряжения трансформатора производится в течение первой стадии нагрева (3-5 мин) после присадки первой порции извести 300-500 кг.

**Количественная оценка массы шлака в ковше**

Шлаковый покров должен обеспечивать защиту шлакового пояса ковша и свода от прямого излучения электрической дуги. Это необходимо учитывать при расчете массы шлакообразующих материалов, которые будут присаживаться в ковш. Оптимальная толщина шлакового покрова, как указывалось ранее, должна составлять 1,2-1,25 длины дуги [2].

Толщина шлакового слоя оказывает влияние на

газонасыщенность стали. При толщине шлака в ковше менее 40 мм резко увеличивается поглощение сталью азота [3].

В связи с тем, что основной дугевого нагрева производится на первой ступени напряжения печного трансформатора, оптимальная толщина шлакового покрова в ковше составляет в условиях УКП мартеновского цеха 140 мм (табл. 1).

Массу шлака в ковше можно определить по формуле

$$M = L\rho S, \quad (1)$$

где  $M$  – масса шлака в ковше, т;  $L$  – толщина шлакового покрова в ковше, м;  $\rho$  – плотность жидкого шлака, т/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поверхности зеркала металла в сталь-ковше, м<sup>2</sup>.

На выпуске полупродукта из сталеплавильного агрегата в ковш присаживается ТШС (600 кг извести + 200 алюмофлюса), а также попадает часть печного шлака, которые формируют начальный слой шлака в ковше до обработки. При расчете количества присаживаемых в ходе обработки шлакообразующих материалов следует учитывать массу этого шлака.

Оценку количества шлака в ковше до обработки производили расчетным методом, для чего разработана специальная методика, основанная на изменении массовой доли CaO. Получено уравнение для расчета массы шлака в начале обработки

$$M = \frac{a_2 m_{\text{прис}} - a_{\text{CaO}} m_{\text{изв}}}{a_1 - a_2}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{прис}}$  – масса всех присаживаемых шлакообразующих материалов (известь, магнезит, алюмофлюс), кг;  $a_1$  – доля CaO в шлаке в начале обработки;  $a_2$  – доля CaO в шлаке после присадки всех шлакообразующих;  $a_{\text{CaO}}$  – доля CaO в извести;  $m_{\text{изв}}$  – масса присаживаемой в составе шлакообразующих извести, кг.

Известь необходимо присаживать с начала дугowego нагрева металла. Ее количество должно быть достаточным для полного экранирования дуги.

**Определение количества извести, присаживаемой в ковш во время обработки, выбор рабочей ступени напряжения начала обработки**

Проведем расчет массы извести, которую необходимо присаживать в ковш при различной толщине шлакового покрова в начале обработки, а также определим ступень трансформатора, с которой нужно начинать обработку до присадки первой порции извести:

$$M_{\text{изв}} = (L_{\text{необх}} - L_{\text{нач}}) \rho S, \quad (3)$$

где  $M_{\text{изв}}$  – масса извести, т;  $L_{\text{необх}}$  – необходимая толщина шлакового покрова в ковше для работы на первой ступени напряжения, м;  $L_{\text{нач}}$  – толщина шлакового покрова в ковше до обработки, м. Результаты расчета приведены в табл. 4.

При выборе рабочей ступени напряжения в начале обработки необходимо учитывать, что толщина шлакового покрова в ковше должна быть не меньше 0,8 длины дуги. В табл. 4 приведены те ступени

напряжения печного трансформатора, которые обеспечивают указанное выше соотношение при различной толщине шлакового покрова в ковше (данные о длине дуги при различных ступенях напряжения приведены в табл. 1). В табл. 4 также указан такой порядок переключения ступеней напряжения, который позволит сохранять данное соотношение по мере присадки извести, обеспечивая наиболее эффективный нагрев металла.

После определения количества шлака в ковше и пользуясь данными табл. 4, можно определить массу извести, которую рекомендуется присадить в начале обработки, а также электрический режим начала обработки. Следует отметить, что начинать дуговой нагрев и присадку извести необходимо одновременно.

**Расчет количества алюмофлюса для раскисления шлака**

Для проведения эффективной десульфурации металла на УКП содержание окислов железа и марганца в шлаке не должен превышать 1 %. Фактическое содержание FeO и MnO в шлаке перед обработкой на исследованных нами плавках указано в табл. 5, из которой видно, что для достижения содержания

Таблица 4

**Расчетное количество извести при различной толщине шлакового покрова и рекомендуемая ступень напряжения начала обработки**

Толщина шлакового покрова в ковше до обработки, мм ( $L_{\text{нач}}$ )	Масса шлака в ковше до обработки, кг	Ступень напряжения начала обработки	Расчетное количество присаживаемой извести, кг ( $M_{\text{изв}}$ )			Промежуточное переключение II и III ступеней напряжения по ходу присадки шлакообразующих, кг
			min	оптимальное	max	
50	900	5	770	1600	2200	250 – III; 500 – II
60	1080	5	600	1400	2000	150 – III; 350 – II
70	1260	3	450	1250	1800	150 – II
80	1440	2	250	1100	1650	–
90	1620	1	100	900	1500	–
100	1800	1	–	750	1350	–
110	1980	1	–	600	1150	–
120	2160	1	–	400	1000	–
130	2340	1	–	250	850	–
140	2520	1	–	100	670	–

Таблица 5

**Содержание FeO и MnO в шлаке перед обработкой металла на плавках текущего производства\***

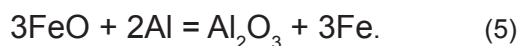
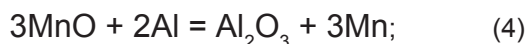
Шлаки низколегированных и низкоуглеродистых сталей	Содержание FeO в шлаке до начала обработки, %	Содержание MnO в шлаке до начала обработки, %
Низкоуглеродистые	1,1-4,1 2,6	1,3-5,2 2,8
Низколегированные	1,4-3,1 2,1	3,2-7,9 4,9

\*В числителе указаны пределы колебаний, в знаменателе – средние значения

вышеуказанных окислов в шлаке 1 % из него на низкоуглеродистых сталях в среднем необходимо восстановить из шлака (%) 2,6 FeO и 2,8 MnO, а на низколегированных сталях 2,1 FeO и 4,9 MnO.

Для раскисления шлака используют алюмофлюсы марок АК-40 и АК-45. Содержание металлического алюминия в АК-40 составляет 15-25 %, в АК-45 – 20-30. Для данного расчета примем содержание Al в алюмофлюсе 20 %.

Восстановление железа и марганца из окислов шлака проходит по реакциям



То есть для восстановления Mn из 1 кг MnO шлака необходимо использовать 0,263 кг Al (1,32 кг алюмофлюса), а для восстановления Fe из 1 кг FeO шлака – 0,259 кг Al (1,3 кг алюмофлюса).

Рассчитали необходимую массу алюмофлюса для раскисления шлака в начале обработки. Результаты представлены в табл. 6.

го пояса ковша от разъедания шлаком, поэтому его обычно вводят в ковш при обработке стали на УКП.

Из литературы и практики других заводов известно, что для поддержания удовлетворительной жидкоподвижности шлака в ковше и стойкости футеровки содержание MgO должно находиться в пределах 6-8 % [4]. Для установления фактического содержания в шлаке оксида магния отбирали пробы шлака на двадцати плавках текущего производства без присадок магнезитового порошка по ходу обработки. Результаты представлены в табл. 7.

Из приведенных данных видно, что содержание MgO в шлаке как по прибытии на ковш-печь, так и по ходу обработки практически не опускается ниже 8,0 %. Среднее содержание MgO в период обработки составляет более 10 %. Этого достаточно для недопущения дополнительного износа футеровки ковша.

В настоящее время периклазовый порошок при наведении шлака не используется.

Таблица 6

#### Масса алюмофлюса, необходимая для раскисления шлака в начале обработки

Толщина шлакового покрова в ковше до обработки, мм	Масса шлака в ковше до обработки, кг	Масса присаживаемого алюмофлюса, кг	
		низкоуглеродистые	низколегированные
50	900	40	59,0
60	1080	48	71,0
70	1260	56	82,5
80	1440	64	94,5
90	1620	72	106,0
100	1800	80	118,0
110	1980	88	130,0
120	2160	96	141,5
130	2340	104	153,5
140	2520	112	165,0

Среднее количество использованного за обработку алюмофлюса составило 243 кг при средней массе шлака начала обработки 1420 кг. В соответствии с расчетом, масса алюмофлюса при таком количестве шлака должна была составить 63 кг для низкоуглеродистых сталей и 93 – для низколегированных.

Разницу между оптимальным и фактическим расходом алюмофлюса можно объяснить тем, что он содержит в своем составе до 25-40 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и используется не только для раскисления шлака, но и для разжижения.

#### Использование магнезитового порошка при наведении шлака

Магнезит (MgO) защищает футеровку шлаково-

#### Выводы

Усовершенствованы электрические и технологические режимы доводки металла на установке ковш-печь.

Электродуговой нагрев металла в начальный период обработки производится вместо 1-й на 3-6 ступенях напряжения печного трансформатора. Переключение на 2-1 ступени напряжения производится в течение первой стадии нагрева (3-5 мин) после присадки первой порции извести. Такой режим позволяет экономить электроэнергию без увеличения длительности обработки и снижения производительности.

Предложены уравнения для оценки массы шлака в ковше в начале обработки, определения количества

## Состав шлака на У КП по ходу обработки металла

Номер плавки	Марка стали	Состав шлака, %*								
		основность			$\Sigma \text{FeO}$			MgO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	S355	1,5	1,8	1,9	1,40	1,90	2,80	9,85	9,26	9,69
2	S235	1,6	2,1	2,1	1,44	2,16	1,75	11,48	10,60	11,05
3	Зсп	1,2	1,8	1,8	1,70	3,16	2,52	12,75	11,15	11,40
4	S235	1,3	2,1	2,1	1,62	2,52	1,60	12,58	8,75	8,86
5	PCA	1,7	1,9	1,9	2,80	1,66	1,65	10,54	8,58	8,38
6	S235	1,6	2,0	2,0	3,79	2,97	2,58	10,48	10,07	10,23
7	LRD	1,9	2,6	2,8	3,13	2,23	1,74	12,05	10,33	9,82
8	S235	1,5	2,1	2,0	2,21	4,29	2,48	9,90	9,95	10,66
9	S235	1,2	1,6	1,7	2,94	2,16	1,46	10,35	9,84	10,65
10	S235	1,6	2,6	2,5	3,60	2,15	1,60	10,05	10,35	10,00
11	A36	1,7	2,2	2,0	3,36	1,65	0,77	10,23	11,07	10,42
12	A36	1,7	1,9	1,8	2,70	2,57	0,80	10,90	9,67	9,15
13	A36	1,4	2,2	2,6	2,37	3,24	1,59	11,40	10,40	9,83
14	A36	1,5	2,8	2,5	1,09	2,17	0,13	10,60	8,56	9,14
15	20X	1,9	2,8	2,6	2,35	4,83	2,52	10,79	9,58	10,98
16	35ХГСА	2,5	2,7	2,3	3,82	3,59	4,01	9,26	9,82	9,82
17	S355	1,5	1,8	1,8	1,40	2,87	1,90	9,85	9,69	9,26
18	09Г2С	1,3	2,2	2,2	3,17	1,90	1,39	11,56	11,16	11,05
19	09Г2С	1,3	1,8	2,0	2,58	2,31	1,05	11,97	10,55	11,50
20	09Г2С	1,5	1,6	1,8	2,84	2,55	2,57	12,96	11,67	11,48
	**	<u>1,1-2,50</u> 1,55	<u>1,6-2,80</u> 2,12	<u>1,7-2,80</u> 2,12	<u>1,09-3,79</u> 2,52	<u>1,65-4,83</u> 2,65	<u>0,77-4,01</u> 1,89	<u>9,26-12,96</u> 10,97	<u>8,56-11,67</u> 10,06	<u>8,38-11,5</u> 10,17

\*1 – проба шлака по прибытии на У КП; 2 – проба на середине обработки; 3 – вторая половина периода обработки;

\*\* в числителе указаны пределы колебаний, в знаменателе – средние значения

известны для обеспечения необходимой толщины шлака и доводки металла.

Определена необходимая масса флюса для различных условий фактического формирования шлака в период обработки металла на У КП.

Изучены химический состав шлака в период доводки металла на У КП и влияние отдельных его ком-

понентов на стойкость шлакового пояса ковша. Установлено, что содержание MgO в шлаке на плавках текущего производства не опускается ниже 8,0 %. Такое содержание является достаточным, чтобы не допустить дополнительного износа футеровки ковша, и позволяет отказаться от использования магниевого порошка при наводке рафинирующего шлака.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас шлаков: Справочное издание / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1985. – 208 с.
2. Сарычев А. Ф., Носов А. Д., Коротких В. Ф. Совершенствование технологии внепечной обработки конвертерной стали // Сталь. – 2002. – № 1. – С. 19-22.
3. Производство стали на агрегате ковш-печь / Д. А. Дюдкин, С. Ю. Бать, С. Е. Гринберг и др. – Донецк: Юго-Восток, 2003. – 306 с.
4. Технология раскисления и легирования стали титаном на У КП порошковой проволокой с наполнителем из титан-содержащих материалов / Б. П. Крикунов, Н. М. Переворочаев, В. И. Цуканов и др. // Металл и литье Украины. – 2008. – № 1-2. – С. 16-19.

## Анотація

Переворочаєв М. М., Крикунов Б. П.

Вдосконалення електричних та технологічних режимів доведення металу на установці ківш-піч

Проведено дослідження стосовно вдосконалення електричних та технологічних режимів доведення металу на установці ківш-піч. Показано, що більш ефективним та економічним є електричний режим доведення, коли електро-дугове нагрівання металу у початковий період обробки проводять замість першої на першій-шостій ступенях напруги. При цьому економія електроенергії досягається без збільшення тривалості доведення та зниження продуктивності. Оптимізовано витрати: вапняку для забезпечення необхідної товщини шлаку у відповідності до встановленої довжини дуги; флюсів для різних умов фактичного формування шлаку та магнезитового порошку при наведенні рафінувального шлаку.

## Ключові слова

позапічна обробка, дугове нагрівання, дзеркало металу, електричний режим, технологічний режим, шлакоутворювальні елементи, пічний трансформатор, довжина дуги, ступені напруги, товщина шару шлаку, оксид магнію, магнезитовий порошок, рафінувальний шлак

## Summary

Perevorotchaev N., Krikunov B.

Improvement of electric and technological modes of metal finishing in a ladle furnace

Research for improvement of electrical and technological modes of metal finishing in ladle furnace was carried out. It was proved that the most effective and economical is the electric one, while arc heating was conducted within initial period on 1-6 voltage stage instead of stage 1. Economy of electric power in that way is achieved without prolonging the finishing time and reducing productivity. Lime expenses are optimized for providing of required slag layer thickness according to the electric arc length and flux for different conditions of actual slag and magnesite powder forming while building up the fining slag.

## Keywords

aftertreatment, electric arc heating, heel of metal, electrical mode, technological mode, slag-forming material, furnace transformer, voltage stage, slag layer thickness, magnesium oxide, magnesite powder, fining slag

УДК 669.18

**Н. М. Переворочаєв**

Филиал «Металлургический комплекс» ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод», Донецк

## Прогнозирование длительности доводки металла на установке ковш-печь (УКП)

Рассмотрены вопросы прогнозирования длительности доводки полупродукта на УКП. Определены, проанализированы и математически описаны условия, влияющие на длительность отдельных условных этапов доводки. На основании выявленных взаимосвязей между параметрами получено уравнение для расчета длительности доводки, с помощью которого возможно определять продолжительность обработки на УКП, прогнозировать время окончания обработки и гибко управлять доводкой при различных ситуациях технологического процесса.

**Ключевые слова:** дуговой нагрев, полупродукт, плавка, длительность обработки, прогнозирование, шлакообразующие материалы, ферросплавы, температура, тепловые потери, бестоковый режим

Основой технологического режима доводки металла на УКП является комплекс последовательных операций по вводу шлакообразующих и разжижающих материалов, ферросплавов, порошковых проволок, а также по перемешиванию металла инертным газом, отбору проб и замеру температуры металла и др. Продолжительность каждой операции определяет общую длительность обработки (доводки). Прогнозирование длительности обработки полу-

продукта является важным элементом в организации синхронной работы установки ковш-печь (УКП) и машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

### Длительность обработки металла на УКП

Длительность разливки плавки на МНЛЗ превышает время их обработки на УКП. Следовательно, при обработке плавки для серийной разливки на МНЛЗ между ними необходимо делать перерыв.