

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ В ВАННЕ ДУГОВОЙ ПЕЧИ.

Гришин А.А., Меркер Э.Э., Сазонов А.В. Федина В.В., Малахова О.И.

Старооскольский технологический институт (филиал) Московского государственного института стали и сплавов (технологический университет).

Аннотация

На основе анализа процесса плавления металлизированных окатышей в ванне дуговой печи, предложен алгоритм управления режимом загрузки металлизированного сырья в зависимости от теплового состояния ванны дуговой печи.

ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF ELECTROSMELTING OF THE METALLIZED CHARGING FEED IN A BATH OF THE ARC FURNACE.

Grishin A.A., Merker E.E., Sazonov A.V., Fedina V.V., Malakhova O.I.

Stary Oskol Technological Institute (branch) of the Moscow State Institute of Steel and Alloys (Technological University)

Annotation.

The author analyses the process of the metallized pellets fusion in the bath of the arc furnace and introduces the algorithm of the operating of the metallized charging feed loading depending on the thermal condition of the bath of the arc furnace.

Процессы нагрева и плавления металлизированных железорудных окатышей (МЖО) осуществляются [1, 2] в пределах границы раздела шлак-металл в ванне дуговой печи с изменяющейся массой металла по ходу электроплавки стали.

Основным параметром технологии электроплавки МЖО в 150 т. дуговых печах является быстрое [3, 4] и экономичное [5] расплавление шихты с последующим непрерывным плавлением МЖО в ванне с учетом установления оптимального соотношения скоростей плавления ($V_{пл}^{ок}$, кг/с) и загрузки ($V_{ок}$, кг/с) металлизированных окатышей в зависимости от теплового состояния сталеплавильной ванны.

В ходе исследований факторов, влияющих на плавление металлизированного окатыша шаровидной формы с учетом теплового баланса [6] на его поверхности, было установлено, что скорость плавления МЖО зависит от температуры шлака, интенсивности теплопередачи и времени растворения окатыша.

$$V_{nl}^{ок} = \frac{dV}{dt} = [a_{эф} (t_{ш} - t_s) / q_s] \cdot F_{ок} \quad (1)$$

где $t_{ш}$ и t_s - температура шлака и окатыша, °С, q_s - скрытая теплота плавления окатыша, кДж/кг; $a_{эф}$ - эффективный коэффициент теплоотдачи на поверхности окатыша, Вт/(м²·К); $F = \sqrt[3]{36pV_0^2}$ - поверхность окатыша, м²; V_0 - начальный объем окатыша.

Анализ уравнения (1) свидетельствует о том, что скорость плавления окатышей в ванне дуговой печи зависит от $a_{эф}$ и $t_{ш}$, т.е. от факторов, зависящих [5, 7] от теплового состояния ванны ($Q_в$), определяемого с учетом необходимого перегрева металла [6] над температурой ликвидуса в пределах 60÷90 °С в условиях интенсивного обезуглероживания металла, т.е. при соблюдении соотношения:

$$\frac{Q_в}{\Delta H \cdot V_{ок} \cdot t} \geq 1,2,$$

где $Q_в$ - количество израсходованной электроэнергии, кВт·ч/т; ΔH - изменение энтальпии металлизированных окатышей, равной 450 кВт·ч/т.

Тепло усвоенное ванной (металлом и шлаком) находим по формуле:

$$Q_в = Q_{\Sigma}^0 - (Q_{изл}^{\phi} + Q_{изл}^{шл} + Q_{ном}), \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (2)$$

где $Q_{изл}^{\phi}$, $Q_{изл}^{шл}$ и $Q_{ном}$ - потери тепла излучением от дуг на футеровку печи, от излучения шлаком в рабочее пространство и другие потери, которые по ходу плавки принимаются постоянными (потеря тепла через кладку печи и с отходящими газами), кВт·ч/т.

Все эти величины находим на основе статей теплового баланса [5] агрегата.

При этом тепловую мощность дуг определяем из выражения:

$$Q_{\Sigma}^0 = \frac{0,9 \cdot W (P_{акт} - P_{э.л})}{4p}, \quad (3)$$

где $P_{акт}$ - активная мощность электропечной установки; W - величина телесного угла дуги ($W = dS \cdot \cos b / r^2$, где r - расстояние от дуги до элементарной площадки dS , b - угол между нормалью к площадке dS и направлением потока излучения от дуги); $P_{э.л}$ - мощность электрических потерь ($P_{э.л} = 3I^2 R_{акт}$, I - сила тока дуги, $R_{акт}$ - суммарное активное сопротивление).

С учетом изложенного, скорость загрузки МЖО в ванну печи находим:

$$V_{ок} = 1,2 \cdot \Delta H \cdot t / Q_в \approx 0,35 \cdot \Delta H \cdot t / Q_в, \text{ кг/с} \quad (4)$$

Выбор скорости загрузки металлизированных окатышей ($V_{ок}$, кг/с) следует осуществлять [2, 7] с учетом теплового состояния ванны, зависящее от скоростей плавления ($V_{nl}^{ок}$, кг/с) и загрузки окатышей, т.е. определив фактическую скорость плавления окатышей по

уравнению (1) задаем требуемую скорость загрузки материала ($V_{ок}$, кг/с), что соответствует условию приведенного в выражении (4).

В случае нарушения этого условия, т.е., например, при превышении скорости загрузки над скоростью плавления окатышей ($V_{ок} > V_{пл}^{ок}$), образуется накопление металлизированного сырья в ванне жидкого металла, а это приводит к оголению электрических дуг [2, 4], интенсивному воздействию излучения их на футеровку стен и свода печи, т.е. снижению Q_6 и температуры ванны.

Уменьшение скорости загрузки по отношению к скорости плавления ($V_{ок} < V_{пл}^{ок}$) металлизированных окатышей приводит к вскипанию ванны [1, 3], а тем самым к резкому увеличению тока и выбросам металла из печи. Все это удлиняет продолжительность плавки, увеличивает расходы электроэнергии и электродов в печи.

При соблюдении технологического режима электроплавки МЖО с учетом полного экранирования электрических дуг в шлаке [2, 4] возрастает теплоусвоение ванны ($Q_6 \rightarrow \max$), и снижается расход электроэнергии (табл. 1), если электроплавка МЖО осуществляется в оптимальной области перегрева металла $50^\circ\text{C} < \Delta T_n < 100^\circ\text{C}$.

Таблица 1 – Сравнительные технологические показатели работы печей 150 –т ДСП.

Показатели* процесса электроплавки ЖМО в ванне ДСП	ДСП без ТКГ	ДСП с применением ТКГ
Время плавки под током, мин	100/95	85/87
Удельный расход кислорода на тонну годного металла, м ³ /т	14,5/12,1	30,2/30,73
Удельный расход углерода в шлак на тонну годного металла, кг/т	18/7	13/10,5
Удельный расход окатышей на тонну годного металла, кг/т	650/640	720/700
Коэффициент использования металлизированного сырья $G_{ок}/G_{лом}$	2/1,3	2,1/1,95
Удельный расход извести на шлакообразование, кг/т	55/51	68/82,6
Энергозатраты на процесс плавки, МДж/т	2482,17/2152	2111,46/2000
Производительность дуговой печи, т/ч	60,96/83,5	75,61/88,5

* Числитель – шарикоподшипниковые марки стали, знаменатель – низкоуглеродистые марки стали.

Причем, как это следует из приведенных данных (табл. 2), процесс электроплавки стали в этих условиях сопровождается снижением удельного расхода электроэнергии на 40,5 кВт·ч/т и увеличением производительности печи.

Таблица 2 – влияние степени перегрева металла ΔT_n на показатели электроплавки ЖМО в ДСП-150

Показатели	Степень перегрева	
	$50^{\circ}\text{C} < \Delta T_n < 100^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_n > 100^{\circ}\text{C}$
Производительность печи, т/мин	1,258	1,152
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	578,4	618,9
Расход кислорода на продувку ванны, м ³ /т	13,573	14,274
Расход металлизированных окатышей на плавку, т	110	112
Число плавов	13	15

Поиск энергосберегающих режимов осуществляли путем исследований, опытов и установления корреляционных связей таких параметров, как теплопитание ванны; скорость нагрева металла, концентрация углерода в окатышах и металле, и скорость их изменения; скорость загрузки окатышей и изменение массы металла в ванне; расход электроэнергии и другие, а также методов синхронизации процессов и параметров электроплавки ЖМО в ДСП-150. Обработка полученных данных подтвердила, что скорость плавления окатышей ($V_{nl}^{ок}$, кг/с) по ходу электроплавки определяется [2, 3] содержанием углерода в ванне, скоростью изменения его концентрации, температурой металла и шлака (t_u , °С) и уровнем его перегрева (ΔT_n , °С), расходом кислорода на продувку металла, уровнем теплопитания ванны и теплопоглощения расплава.

Интенсификация режима плавления ЖМО в ванне ДСП возможна при использовании [8] топливно-кислородных горелок (ТКГ), как в теплотехнический период плавки, так и в технологический.

Для оценки эффективности применения ТКГ в 150 т. дуговых печах ОАО «ОЭМК» обработали опытные данные более 150 паспортов работы двух печей, с применением двух ТКГ и без использования ТКГ (табл. 2). Из анализа этих данных (табл. 2), следует вывод о том, что использование ТКГ для интенсификации процессов шлакообразования и вспенивания шлака способствует повышению производительности печи и сокращению расхода электроэнергии на 35÷50 кВт·ч/т стали при существенном увеличении скорости загрузки ($V_{nl}^{ок} \rightarrow \max$) окатышей в ванну.

Установлено, что использование ТКГ при электроплавке МЖО в ванне дуговой печи с применением повышенных расходов (табл. 2) кислорода, коксика и извести на плавку приводит к дополнительному вспениванию шлака и эффективному экранированию электрических дуг в ванне [1, 5], а это в свою очередь приводит к повышению теплоусвоения металла ($Q_e \rightarrow \max$), увеличению $a_{эф}$ и $t_{ш}$ и повышению скорости плавления ($V_{пл}^{ок} \rightarrow \max$) окатышей (ур-е. 4) и уменьшению длительность (табл. 2) плавки под током.

Выводы: Для обеспечения энергосберегающего режима электроплавки МЖО (Q_e , $a_{эф}$, $V_{ок}$, $V_{пл}^{ок} \rightarrow \max$) с изменяющейся массой металла в ванне дуговой печи необходимым является соблюдение синхронизации хода процессов плавления и скорости загрузки окатышей при данном тепловом состоянии ванны, оптимальном уровне перегрева металла и заглубления электрических дуг во вспененном шлаке. Результаты сопоставления предложенного режима электроплавки [2, 6] с данными текущих плавов [3, 7] показали, что производительность ДСП – 150 увеличивается с 2,13 до 2,17 т/мин., а удельный расход электроэнергии снижается с 593,5 до 559,1 кВт·ч/т при улучшении (табл. 1 и 2) других показателей электроплавки стали.

Список литературы

1. Трахимович В.И. Шалимов А.Г. Использование железа прямого восстановления выплавке стали. М.:Металлургия. 1982 г. – 248 с.
2. Меркер Э.Э., Федина В.В., Харламов Д.А. // Черные металлы. 2004. № 2. с. 16-19.
3. Фомин А.М., Хохлов О.А., Ледовской В.М. и др. // Сталь. 1988. № 1. с. 40-42.
4. Волкодаев А.Н., Токовой О.К. Звонарев В.П. // Сталь. 1997. № 6. с. 46-48.
5. Макаров А.Н., Свенчанский А.Д. Оптимальные тепловые режимы дуговых печей. М.: Энергоатомиздат. 1992. -96 с.
6. Бартенева О.И., Меркер Э.Э. Харламов Д.А. // Изв. Вуз. Черная металлургия. 2001. № 5. с. 74-75.
7. Изгалиев Т.И., Анисимов Ю.И. Лубашев Ю.А. и др. // Авт. свид. СССР. № 2082763 (13). С. 21 С 5/52. Бюл. №18. 27.06.97.
8. Белитченко А.К., Кутаков А.В., Лозин Г.А. // Черная металлургия: Бюл. НТИ. 1998. № 1-2. с. 23-26.