

УДК 669.187

## **Интенсификация плавки стального полупродукта в сверхмощных дуговых электропечах путем оптимизации энергетических режимов**

И. У. Рахмонов\*, А. Н. Расулов

Описан рациональный режим плавки стального полупродукта в сверхмощных дуговых электропечах, основанный на выборе оптимальной величины мощности в соответствии с потребностью в тепле в каждый период плавки. Исследованы влияния текущих электрических параметров энергетического режима ДСП-100 и интенсификации технологических процессов на производительность печи, а также установлены величины удельного количества электрической энергии с целью определения наиболее рационального параметра, характеризующего эффективность выплавки стали.

Ключевые слова: рафинирование, обработка стали, электрические потери, период расплавления, удельный расход электроэнергии.

Электросталеплавильный способ является одним из основных в производстве качественной и высоколегированной стали. Благодаря ряду принципиальных особенностей он позволяет получить разнообразный по составу высококачественный металл с низким содержанием серы, фосфора, кислорода и других нежелательных примесей.

Преимущество электроплавки по сравнению с другими видами сталеплавильного производства состоит в использовании электрической энергии для нагрева металла. Выделение тепла в электропечах происходит либо в нагреваемом металле (печи прямого действия, дуга горит между электродом и нагретым телом), либо в непосредственной близости от его поверхности (печи косвенного действия, дуга горит между электродами).

В дуговых печах первого типа в сравнительно небольшом объеме сконцентрированы значительная мощность, высокая скорость нагрева металла, плавная и точная регулировка температуры, что очень важно при автоматизации производства [1].

Электропечь лучше других приспособлена для переработки металлического лома, причем твердой шихтой может быть занят весь объем печи и это не мешает процессу расплавления.

Процесс выплавки стали в электрической печи без установленных заранее теплового и электрического режимов, как правило, идет с затяжкой по времени и с большими удельными расходами электроэнергии. На рисунке представлен примерный график вторичного напряжения дуговой печи ДСП при выплавки стали с полным окислением.

При разработке электрических режимов основная задача заключается в установке оптимальной величины мощности в соответствии с потребностью в тепле в каждый период плавки.

---

\* Lider\_1987@mail.ru

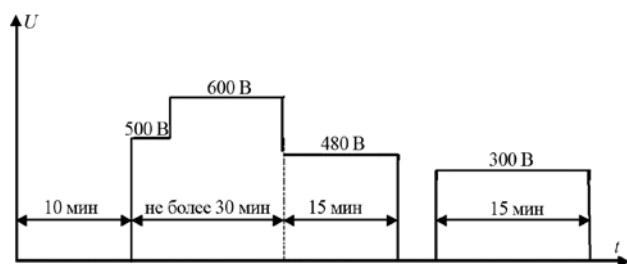


График изменения напряжения дуговой печи ДСП за один технологический цикл плавки

Мощность регулируется путем изменения рабочего напряжения, причем необходимо не только выбрать максимальное рабочее напряжение, но и установить требуемое количество ступеней напряжения и график чередования и продолжительности работы при различных уровнях напряжения. Учитывая преимущества работы на повышенных мощностях, целесообразно работать на более высоких напряжениях, однако в целях защиты свода от непосредственного действия дуг в течение 8 — 10 мин, пока электроды не углубятся в шихту, рекомендуется подавать мощность ниже максимальной. Как только электроды опустятся, мощность может быть доведена до предельной а к концу расплавления, когда дуги откроются, ее снова следует снизить в целях понижения температуры для создания условий, благоприятствующих экзотермической реакции обесфосфоривания.

В период рафинирования, когда потребность в тепле значительно меньше и оно в основном расходуется на покрытие тепловых потерь, мощность следует уменьшить не менее, чем на 40% путем переключения с треугольника на звезду [2].

Только при надлежащем автоматическом регулировании электродов, без которого работа дуговой печи в настоящее время не допустима, в каждый момент времени сила тока дуги точно соответствует заданию. Поэтому эксплуатация новых дуговых электросталеплавильных печей без аппаратуры для автоматического регулирования электродов запрещена.

Электросталеплавильный цех имеет в своем составе: шихтовый, печной (ДСП-100 УМК) и разливочный пролеты;

агрегат комплексной обработки стали (АКОС); известково-обжиговый участок (ИОУ).

Энергетические показатели комплекта оборудования, установленного на производственных участках электросталеплавильного цеха определяют удельный расход энергии.

Дуговая электроплавильная печь ДСП-100: печной трансформатор  $P_y = 95000$  кВт;  $K_3 = 0,75$ ;  $P_p = 71250$  кВт; две печи с трансформатором мощностью 60 мВА.

Шихтовой пролет: три крана 30/15 с установленной мощностью:

кран № 1:  $P_{\Sigma \text{уст}} = 168$  кВт;  $K_3 = 0,836$ ;  $P_p = 140,5$  кВт;  $\Theta = 2529,18$  кВт·ч/сут;  $T = 18$  ч;

кран № 2:  $P_{\Sigma \text{уст}} = 168$  кВт;  $K_3 = 0,836$ ;  $\Theta = 2669,69$  кВт·ч/сут;  $T = 19$  ч;

кран № 3:  $\Theta = 2669,69$  кВт·ч/сут;  $T = 19$  ч.

Таким образом суточный расход трех кранов составляет  $\Theta_{\Sigma} = 7868,56$  кВт·ч/сут;  $P_{\Sigma \text{уст}} = 504$  кВт;  $P_p = 421,13$  кВт.

Для интенсификации расплавления шихты печь снабжена системой с тремя газокислородными горелками фирмы «Лонге» с автоматическим регулированием расхода газа и кислорода и выходом всех рабочих параметров на компьютер.

Интенсификация плавки позволила:

сократить продолжительность плавки до 60 мин; сталеплавильной печи работать под током 46 мин.

Рассмотрим пример расчета удельного расхода энергии для электропечной установки УМЗ емкостью 100 т; средневзвешенным  $\cos \varphi = 0,85$ ; номинальной мощностью печного трансформатора 2-60000 кВА.

Рассчитаем удельный расход электроэнергии за каждый отдельный период и за всю плавку в целом [3].

Период расплавления:

$$a_{\text{распл}} = 340 + 5,4g_{\text{шл}} + 6,7g_p,$$

где 340 — теоретический расход энергии на расплавление стали, кВт·ч/т;  $g_{\text{шл}}$ ,  $g_p$  — отношение веса шлака и руды, присаженных в данный период, к весу металла, %.

$$a_{\text{распл}} = 340 + 5,4 \cdot 3,0 + 6,7 \cdot 1,0 = 340 + 16,2 + 6,7 = 363 \text{ кВт·ч/т.}$$

Средневзвешенная активная мощность, отдаваемая трансформатором в период расплавления:

$$P_{\text{тр}} = 95000 \text{ кВт.}$$

Мощность электрических потерь:

$$P_3 = 3I_2^2 R_2 \cdot 10^{-3} \text{ кВт,}$$

где  $I_2$  — средневзвешенный ток за данный период во вторичной цепи трансформатора, А;  $R_2$  — приведенное ко вторичной стороне активное сопротивление одной фазы, Ом.

Общие электрические потери составляют в среднем 11% и зависят от времени нахождения печи под током, тогда  $P_3 = P_p \cdot 0,11 = 71250 \cdot 0,11 = 7837$  кВт, следовательно, средневзвешенная мощность печи равна:

$$P = 71250 - 7837 = 63413 \text{ кВт.}$$

Удельные мощности печи:

$$b = \frac{P}{G} - \frac{63413}{114} = 556 \text{ кВт/т.}$$

тепловых и электрических потерь:

$$c = \frac{P_{\text{тр}}}{G} = \frac{7481}{114} = 66 \text{ кВт/т;}$$

$$d = \frac{P_3}{g} = \frac{7836}{114} = 68 \text{ кВт/т.}$$

Продолжительность простоев, отнесенная к периоду расплавления, составляет:

$$t = 0,3 + 0,6 + 0,17 = 1,1 \text{ ч.}$$

Тогда удельный расход электрической энергии за период расплавления должен быть равен:

$$\begin{aligned} A_{\text{распл}} &= a + \frac{1}{b-c} [c(a+bt) + d(a+ct)] = \\ &= 363 + \frac{1}{556-66} [66(363+556 \cdot 0,6) + 68(363+66 \cdot 0,6)] = \\ &= 363 + \frac{1}{490} (45976 + 27377) = 513 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.} \end{aligned}$$

*Период окисления.*

Полезный удельный расход электроэнергии:

$$\begin{aligned} a_{\text{окис}} &= 0,247(t_{\text{окис}} - t_{\text{пл}}) + 5,4g_{\text{шл}} + 6,7g_{\text{р}} = \\ &= 0,247 \cdot 150 + 5,4 \cdot 5,0 + 6,7 \cdot 2,0 = \\ &= 37,1 + 27,0 + 13,4 = 78 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.} \end{aligned}$$

Средневзвешенная активная мощность, отдаваемая в этот период трансформатором, равна:

$$P_{\text{тр}} = 71250 \cdot 0,75 = 53437,0 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенная мощность печи:

$$P = 53437 - 5130 = 48307 \text{ кВт.}$$

Удельные мощности печи, тепловых и электрических потерь:

$$\begin{aligned} b &= \frac{P}{g} = \frac{48307}{114} = 424 \text{ кВт}; \\ c &= \frac{5878}{114} = 51 \text{ кВт/т}; \\ d &= \frac{P_{\text{э}}}{g} = \frac{3527}{114} = 31 \text{ кВт/т.} \end{aligned}$$

Простои в период окисления:  $t = 0,24$ .

Удельный расход электроэнергии за период окисления выглядит как:

$$\begin{aligned} A_{\text{окис}} &= a + \frac{1}{b-c} [c(a+bt) + d(a+ct)] = \\ &= 78 + \frac{1}{424-51} (51(78+424 \cdot 0,24) + \\ &+ 3,1(78+510,24)) = 78 + \frac{1}{373} (9168 + 2797) = \\ &= 110 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.} \end{aligned}$$

*Период восстановления:*

$$a_{\text{восст}} = 36 \text{ кВт/т.}$$

Средневзвешенная активная мощность, отдаваемая трансформатором в период восстановления, составляет  $(0,4 - 0,5)P_{\text{макс}}$ :

$$P_{\text{тр}} = 0,45 \cdot 71250 = 32062 \text{ кВт.}$$

Средневзвешенная мощность печи:

$$P = P_{\text{тр}} - P_{\text{э}} = 32062 - 240 = 31822 \text{ кВт.}$$

Удельные мощности печи и электрических потерь:

$$\begin{aligned} b &= \frac{P}{g} = \frac{31822}{114} = 279 \text{ кВт}; \\ d &= \frac{2939}{114} = 26 \text{ кВт/т.} \end{aligned}$$

Продолжительность простоев, отнесенная к периоду восстановления, составляет  $t = 0,2$ .

Полный удельный расход электроэнергии за всю плавку равен сумме отдельных составляющих за периоды:

$$\Sigma A = 513 + 110 + 62 = 685 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

На тонну годной жидкой стали при 1% брака по металлу удельный расход будет равен:

$$A_{\text{ж-т}} = \frac{\Sigma A}{0,99} = \frac{685}{0,99} = 692 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

Если выход годных слитков по цеху для данной марки стали и существующих условий разлива равен 96% от веса жидкого металла, то удельный расход электроэнергии на тонну годных слитков составит:

$$A_{\text{сл}} = \frac{692}{0,96} = 721 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

Таким образом, исследовано влияние текущих электрических параметров энергетического режима ДСП-100 при интенсификации технологических процессов плавления шихты и нагрева расплава на величину производительности печи, величины удельного количества электрической энергии и себестоимости выплавляемой стали с целью выбора наиболее рационального параметра, характеризующего эффективность процесса выплавки стали. За счет соблюдения технологического процесса и рационального использования потребляемой ДСП большой мощности ( $G > 100 \text{ т}$ ) удалось снизить удельное потребление электрической энергии на 6 — 10 кВт·ч/т.

## Литература

1. Аллаев К.Р., Хошимов Ф.А. Энергоснабжение на промышленных предприятиях. Т.: Фан, 2011.
2. Hoshimov F.A., Rahmonov I. U. Analysis of the optimal energy indicators of electric arc furnace // Austrian J. Tech. and Natural Sci. 2015. N 3 — 4. P. 52 — 55
3. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У., Акбаров Ф.А. Оценка и методы расчета энергетических показателей на предприятиях // Актуальные проблемы современной науки. 2015. № 2 (81). С. 148 — 152.

Статья поступила в редакцию 19.11.2015