

Угар легирующих элементов в индукционной печи

Студент гр. 10405412 Шенец С.Л.
 Научный руководитель – Кабишов С.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Проблеме угара легирующих элементов при плавке стали и чугуна в индукционных тигельных печах повышенной частоты (ИТППЧ) в технической литературе уделяется недостаточно внимания. В то же время, принимая во внимание, что в машиностроении и литейном производстве большая часть сплавов производится именно в ИТППЧ, суммарные потери легирующих достигают весьма значительных объемов. По данным [1] в печах с основной футеровкой угар элементов следующий: вольфрама около 2 %,- хрома, марганца и ванадия - 5 – 10 %, кремния – 10 – 15 %, титана 25 – 35; в печах с кислой футеровкой: угар марганца составляет 10 %, кремний практически не угорает, угар вольфрама и молибдена около 2 %, хрома 5 %.

В условиях унитарного предприятия «Литье» были проведены плавки в индукционной печи УР – 120 с кислой футеровкой, характеристики печи представлены в таблице 1. Целью опытных плавки было определение фактического угара легирующих элементов. Химический состав выплавляемых сплавов представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристика печи УР – 120

Номинальная мощность, кВт	120
Макс. производительность, кг/час	200
Расход э/энергии, кВт·ч/тонну	580
Рабочая частота, кГц	1÷5
Мин. загрузка, кг	40
Продолжительность непрерывной работы, ч	До нагрева охлаждающей воды выше 38 °С

Таблица 2 – Химический состав исследуемых сплавов, %

№	Сплав	C	Si	Mn	Ni	V	Mo	Cu	Cr	P	S	Al	Ti
1	ЖЧХЗ	3-3,8	2,8-3,8	1,0	0,2	<0,15	<1,0	<0,04	2-3	0,3	<0,12	<0,1	0
2	Сталь 25Л	0,22-0,3	0,17-0,37	0,5-0,8	0,25	0	0	0,25	0,25	<0,035	<0,035	<0,01	0

В результате химического анализа установили, что угар элементов для сплава ЖЧХЗ составил: углерод (C) – 10%, кремний (Si) – 15%, марганец (Mn) – 15%, никель (Ni) – 2%, ванадий (V) – 10%, молибден (Mo) – 2%, хром (Cr) – 2%. Для стали 25Л: углерод (C) – 2%, кремний (Si) – 27%, марганец (Mn) – 8%, никель (Ni) – 2%, ванадий (V) – 1%, молибден (Mo) – 2%, хром (Cr) – 2%.

Анализ полученных результатов показывает, что фактические потери легирующих отличаются от данных [1] и по некоторым позициям их превышают. Одной из возможных причин, например, повышенного угара кремния при выплавке стали 25Л может быть начальная окисленность шихты либо значительная продолжительность контакта расплава с атмосферой при перемешивании в процессе плавки. Следовательно, необходимы дополнительные исследования с целью выявления действительных причин повышенного угара и корректировки существующих технологий плавки стали и чугуна в ИТП.

Список использованных источников

1. Поволоцкий, Д.Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов / Поволоцкий Д.Я. [и др.] // М.: Metallurgy, 1974. – 551 с.

УДК 621.78.012.5

Математическая модель индукционного нагрева ограниченных цилиндрических заготовок

Магистрант Цыкунов П.Ю.

Научные руководители – Трусова И.А., Рафальский И.В.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск

Нагрев электромагнитными источниками (индукционный нагрев) получил повсеместное распространение в металлургической промышленности, постепенно вытесняя традиционный нагрев, использующий теплоту сжигания природного топлива. Несмотря на то, что электричество, по сути, вырабатывается преобразованием тепловой энергии (на ТЭЦ), появление альтернативных источников электроэнергии делает индукционный нагрев все более привлекательным с точки зрения следующих преимуществ: полная или частичная автоматизация и компьютеризация, точный и скоростной нагрев, избирательный (локальный) нагрев, низкое образование окалины, экологичность и др.

В мире существуют множество программ, позволяющих моделировать процессы нагрева металла. Из более мощных выделяют ANSYS и COMSOL, из более простых и доступных на территории СНГ – Universal 2D.

Нагрев заготовок круглого сечения может быть реализован с использованием численных методов решения задачи на основе модели следующего вида:

$$c(T)\rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \lambda(T)r \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \lambda \left[(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right];$$

$$T = T(r; \varphi; z; 0);$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 < r < R; 0 \leq \varphi \leq \pi; \\ 0 \leq z \leq h; \tau \geq 0 \end{array} \right. ,$$

где T – текущая температура в точке;

r, φ, z – текущие значения радиуса, угла, продольного размера соответственно;

$\rho(T), c(T), \lambda(T)$ – плотность, теплоемкость, теплопроводность материала цилиндра.

Граничные условия формируются исходя из понятия о скин-слое заготовки. В результате эффекта уменьшения амплитуды электромагнитных волн по мере их проникновения вглубь проводящей среды, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется неравномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое (скин-слое). Т.к. этот слой очень тонкий то, пренебрегая его толщиной, получим начальное значение температуры T_1 на поверхности заготовки.

Сеточная модель цилиндра представлена на рисунке 1 [1], где K_φ и K_z обозначают исходный контур (штриховая линия), необходимый при расчетах нагрева от окружающей среды, от которого при индукционном нагреве полностью отказываются: