

ценностей и опасных материалов, химическая и металлургическая промышленность (химически стойкий и теплостойкий бетон).

УДК 621.745.35

### **Влияние типа плавильного агрегата на энергопотребление при плавке чугуна**

Магистрант Литвинов М.О.,  
студенты: гр.10405113 Бичан А.Н., Мурашко И.А., гр.10405114 Позняк О.А.  
Научный руководитель – Неменёнок Б.М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В структуре себестоимости получаемых расплавов чугуна и стали затраты на энергоносители и шихтовые материалы являются наиболее значимыми. Поэтому любые мероприятия, направленные на снижение энергопотребления, являются одним из факторов повышения конкурентоспособности продукции.

В плавильных агрегатах в качестве энергоносителей наиболее часто используются электроэнергия (дуговые, индукционные печи), природный газ и литейный кокс (в вагранках). Согласно данным работы [1] наиболее эффективно расходуется тепловая энергия при плавке чугуна в электрических индукционных тигельных печах средней частоты (72,4 %), дуговых печах постоянного тока (66,4 %) и газовой вагранке фирмы Duker (59,2 %). Эти печи имеют более высокий термический КПД. Индукционные печи промышленной частоты требуют постоянного расхода электроэнергии для поддержания «болота» металла в расплавленном состоянии между завалками и во время горячих простоев.

Для плавки черных металлов на предприятиях чаще всего используются дуговые печи (ДП) переменного тока, технические возможности которых позволяют выплавлять широкую гамму сплавов с высокими показателями качества при использовании низкосортной шихты, что выгодно отличает их от индукционных печей [2].

Однако дуговые плавильные печи переменного тока наносят большой вред окружающей среде. Строительство мощных устройств пыле- и газоочистки для защиты воздушного бассейна требует почти таких же средств, как на приобретение и установку этих печей.

К недостаткам ДП переменного тока следует также отнести сравнительно высокий уровень удельного расхода электроэнергии, графитированных электродов (до 5,5 кг/т и более), угар шихтовых материалов и ферросплавов (3,5 – 6,0 %), а также высокий уровень шума (до 103 – 105 дБ).

В отличие от дуговых печей переменного тока дуговые печи постоянного тока (ДППТ) имеют один графитированный электрод, расположенный вдоль вертикальной оси печи, и один или несколько электродов, установленных в подине печи. Процесс плавки в ДППТ практически имеет те же технологические приемы (продувка металла кислородом, инертным газом, обработка шлаком, легирование), что и в ДП.

Управляемое перемешивание расплава улучшает и ускоряет металлургические процессы. Сочетание заданного направления и скорости движения металла с тепловым потоком от дуги позволило удерживать локальный нагрев расплава на уровне температуры, не превышающей 5 – 7% от средней температуры расплава во все периоды плавления, что обеспечило значительное снижение угара элементов сплава при плавке.

Для плавки твердой шихты применяются индукционные тигельные печи повышенной частоты (более 1000 Гц), средней частоты (150 – 500 Гц) и промышленной частоты (50 – 60 Гц). В чугунолитейном производстве индукционные печи повышенной частоты применяются в специализированных производствах.

При плавке металла в индукционной печи санитарно-гигиенические условия труда значительно лучше, чем при плавке в вагранке.

Эффективным мероприятием для снижения расхода технологической электроэнергии при плавке чугуна в индукционных электропечах является переход на печи средней частоты, работающей без «болота» [3]. Они имеют примерно в 3 раза более высокую мощность и соответственно производительность по сравнению с печами промышленной частоты такой же емкости. В таблице 1 приведены основные показатели электропечей для плавки чугуна.

Таблица 1 – Показатели оценки эффективности плавильных агрегатов и установок для плавки чугуна (электропечи) [1]

Показатель оценки	Электродуговые печи переменного тока типа ДЧМ	Электродуговые печи постоянного тока типа ДППТ	Индукционные, тигельные электропечи промышленной частоты типа ИЧТ	Индукционные, тигельные электропечи средней частоты типа IFM фирмы АВР
Нормальный режим работы	Поплавочный		Поплавочный с «болотом»	Поплавочный
Энергоноситель для плавки	Электроэнергия			
Удельный расход энергоносителя на 1 т выплавляемого чугуна: кВтч теплоэнергия, Мкал	650 – 750 559 – 645	550 – 650 473 – 559	> 1 100 > 946	550 473
Температура перегрева расплава чугуна, °С	до 1500	до 1500	до 1450	до 1450
Шихтовые материалы: чушковой чугун, % от м/завалки стальной лом	5 – 8 25 – 35	5 – 8 до 60	8 – 12 30 – 40	8 – 12 до 60
Качество шихты для плавки	Возможно применение низкосортного стального и чугунного лома		Очищенный от пригара, сухой	Очищенный от пригара
Металлургический угар чугуна, % угар (–), пригар (+) С	(–) 3,5 – 5,0 (+) 5 – 10	(–) ~ 3,0 (–) < 5,0	(–) ~ 3,0 (–) 5 – 15	(–) ~ 2,0 (–) 15 – 20
Si	(–) 5 – 15 (основная печь)	0	(–) 5 – 20 (основная печь)	(0 – 15)
Mn	(–) 15 – 30	(–) 10 – 20	(–) 10 – 15	(5 – 15)
S	(–) 20 – 30 (основная печь)	0	0	0
Минимальный % S в расплаве	Содержание в шихте. Возможен процесс десульфурации		Содержание в шихте	
Металлургическая обработка расплава	Возможна		Не возможна	
Загрязнение среды: а) твердые отходы (шлак), кг/т расплава	60 – 80	40 – 70	20 – 30	20 – 30
б) газовые выбросы, мг/м <sup>3</sup> : CO	0,88 – 0,94	до 0,8	0,5 – 0,007	0,5 – 0,07
SO <sub>2</sub>	–	–	–	–
NO <sub>2</sub>	0,18 – 0,20	до 0,2	0,37	0,37
в) пылевые, кг/т расплава	5,6 – 6,0	менее 5,0	0,55 – 0,8	0,55 – 0,8

Учитывая значительные пылегазовые выбросы при плавке в электродуговых печах, необходимо устанавливать эффективные очистные сооружения, что также потребует дополнительного расхода электроэнергии, которая будет повышать себестоимость получаемого расплава.

В работе [3] приведены сведения по относительной себестоимости 1 т жидкого чугуна в зависимости от способа выплавки. Если себестоимость при плавке в газовой вагранке принять за 1,0, то в дуговой печи и индукционной тигельной печи промышленной частоты она увеличивается в 2 раза, в дуговой печи постоянного тока – в 1,8 раза и в индукционной тигельной средней частоты – в 1,4 раза. Однако при этом следует учитывать качество получаемого расплава и экологические последствия.

#### Список использованных источников

1. Мельников, А.П. Современные тенденции развития технологии в литейном производстве / А.П. Мельников, Д.М. Кукуй // Литье и металлургия. – 2008. – № 3. – С.65 – 80.
2. Михайлов, Д.П. Печи литейных цехов / Д.П. Михайлов, А.Н. Болдин, А.Н. Граблев. – Ст. Оскол: ТНТ. – 2015. – 496 с.
3. Лузгин, В.И. Индукционные печи средней частоты нового поколения / В.И. Лузгин, А.Ю. Петров, Л.И. Фаерман // Металлургия машиностроения. – 2002. – № 1. С.4 –13.

УДК 669.054.82

#### Особенности переработки рафинировочных шлаков сталеплавильного производства

Магистрант Джураев Т.Х.,

студенты: гр.104111 Семенец И.Б., гр. 10405112 Прокопчук Д.А.,

гр. 10405113 Григорьев П.Е.

Научный руководитель – Неменёнок Б.М.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Из всего многообразия техногенных образований, получаемых в металлургическом производстве черных металлов, основной объем (свыше 80%) составляют шлаковые отвалы [1]. В современном сталеплавильном производстве следует различать плавильные шлаки, образующиеся в электродуговой печи и рафинировочные шлаки агрегата «печь-ковш».

В таблице 1 приведены усредненные составы печных и рафинировочных шлаков [2].

Таблица 1 – Усредненные химические составы печных и рафинировочных шлаков сталеплавильного производства [2]

Вид шлака	Химический состав шлаков, масс. %							
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
Печной	15,0-31,0	6,4-19,2	2,5-8,0	19,7-53,2	4,2-10,1	4,3-8,8	0,14-0,47	0,05-0,27
Рафинировочный	38,7-59,6	8,7-20,3	16-38,8	0,3-2,2	4,7-12,1	0,08-5,3	0,05-0,15	0,24-2,5

По данным качественного рентгенофазового анализа [2] в печных шлаках фиксируются вюстит FeO, магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, мервинит C<sub>3</sub>MS<sub>2</sub> (3CaO·MgO·2SiO<sub>2</sub>) и высокотемпературная модификация белита - ларнит β – C<sub>2</sub>S (β - 2CaO·SiO<sub>2</sub>). Рафинировочные шлаки содержат три основные фазы: майенит C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> (12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), периклаз MgO и низкотемпературную модификацию белита - шеннонит γ – C<sub>2</sub>S (γ - 2CaO·SiO<sub>2</sub>). Фазовый состав шлаков определяет их физико-механические свойства и пригодность к дальнейшей переработке.