

«Сейфуллин окулары – 16: Жаңа формациядағы жастар ғылыми – Қазақстанның болашағы» атты халықаралық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Международной научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 16: Молодежная наука новой формации – будущее Казахстана. - 2020. - Т.II. - С. 144-147

## **К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАВКИ СТАЛИ В ДУГОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ**

*Кеншілікұлы А., Умирзаков Р.А.*

В статье изложены результаты экспериментальных исследований влияния вспененного шлака на работу дугоплавильной печи. Изучено влияние параметров электроплавки на расход электрической энергии. Приведен энергетический баланс электросталеплавильного процесса. Определен КПД электродуги, определяющий качество влияния технологии вспененного шлака в период перегрева жидкого металла. Построено уравнение зависимости скорости нагрева жидкого металла от других параметров плавки.

**Ключевые слова:** Дугоплавильная печь, вспененный шлак, расход электрической энергии, тепловой баланс, электрическая дуга, коэффициент полезного действия.

Применение технологии вспененного шлака в дугоплавильных печах является одним из основных способов интенсификации процесса плавления металла. При свободном горении дуги в жидкой ванне около 35% энергии дуги передается металлу, остальная часть расходуется на нагрев стенки и свода печи [1, 3, 4]. По мере нарастания слоя вспененного шлака дуга погружается в слой и количество передаваемой металлу энергии возрастает. Таким образом количество передаваемой энергии может достигнуть 90 % от выработанной в дуге [1, 3, 4]. Кроме того, когда дуга погружена в шлак, значительно уменьшаются колебания силы тока и напряжения, что позволяет увеличить подводимую мощность и длину дуги. При увеличении длины дуг ток уменьшается. В результате этого, а также меньшего «бокового расхода» при экранировании шлаком снижается расход электроэнергии.

В структуре АО «Узметкомбинат» действует высокомошная дугоплавильная печь вместимостью 100 т (ДСП-100) для плавки вторичного лома с последующим получением полупродукта. Подвод электрической энергии осуществляется с автотрансформатора мощностью 95 МВт, газо-кислородными горелками, установленными в периферийной зоне печи, в рабочую зону подаётся газ и кислород. Активная мощность электрической энергии достигает 59 МВт, часовой расход газа – до 2500 м<sup>3</sup>/ч, кислорода – до 7000 м<sup>3</sup>/ч. Операционная диаграмма существующей технологии подвода энергии в печь ДСП-100 приведена на рис. 1.

Для оценки зависимости удельного расхода электрической энергии, основного источника тепла, от других параметров процесса плавки проведен статистический анализ протокола 400 плавов, проведенных в ДСП-100.

Обработка результатов исследования проводилась методом множественной регрессии. Основными корреляционными параметрами были выбраны: масса металлолома  $M_{м.л.}$ , масса жидкого металла на выпуске  $M_{п/п}$ , продолжительность выплавки металла  $\tau_{общ}$ , продолжительность работы под током  $\tau_{ток}$ , расход электроэнергии  $W_{уд}$ , извести  $V_{CaO}$ , кокса  $V_C$ , кислорода  $V_{O_2}$  и природного газа  $V_{CH_4}$ . В таблице 1 приведены основные параметры плавки, выбранные для анализа.

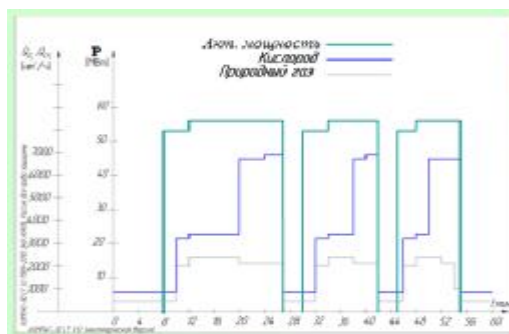


Рисунок 1 - Операционная диаграмма существующей технологии подвода энергии в печь ДСП-100

Таблице 1 Основные параметры плавки в ДСП

Исследуемый параметр	Обозначение	Единица
Масса металлолома	$M_{м.л.}$	т
Масса жидкого металла на выпуске	$M_{п/п}$	т
Продолжительность выплавки металла	$\tau_{общ}$	мин
Продолжительность работы под током	$\tau_{ток}$	мин
Расход электроэнергии	$W_{уд}$	кВт·ч/т
Расход извести	$V_{CaO}$	кг/т
Расход кокса	$V_C$	кг/т
Расход кислорода	$V_{O_2}$	м <sup>3</sup> /т
Расход природного газа	$V_{CH_4}$	м <sup>3</sup> /т

Полученная корреляционная матрица выбранных параметров плавки показывает, что удельный расход электроэнергии в основном зависит от массы жидкого металла на выпуске, продолжительности работы под током, расходов кокса, извести, кислорода и природного газа. В таблице 2 приведены результаты корреляции параметров плавки.

Таблица 2 Корреляционная матрица исследуемых параметров

Основные параметры	м.л., Т	п/п, Т	общ,	ток,	С, кг/т	СаО, кг/т	уд, кВт.ч/т	O <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /т	CH <sub>4</sub> , м <sup>3</sup> /т
			ин	ин.					
Среднее значение	35	19	8	6	6	6	86	3	
Стандартное отклонение	,13	,91	,15	,07	,82	,46	1,92	,57	,57
Удельный расход электроэнергии	,19	<b>0,73</b>	,28	<b>,48</b>	,27	<b>,35</b>	,00	<b>,49</b>	<b>,36</b>

Цифры, отмеченные жирным шрифтом, относятся к статистически значимым [6]. Корреляционная матрица показала, что зависимость удельного расхода электроэнергии от массы жидкого металла на выпуске имеет отрицательный знак, а зависимость от продолжительности работы под током, расхода извести, природного газа и кислорода положительный. В работе [2] авторы сообщают, что аналогичные результаты были получены в исследованиях проведенных на некоторых других заводах и связывали это явление с некоторыми нарушениями технологии подвода химической энергии природным газом и кислородом при выплавки стали в печах ДСП. Графическое представление зависимостей параметров плавки показано на рисунке 2.

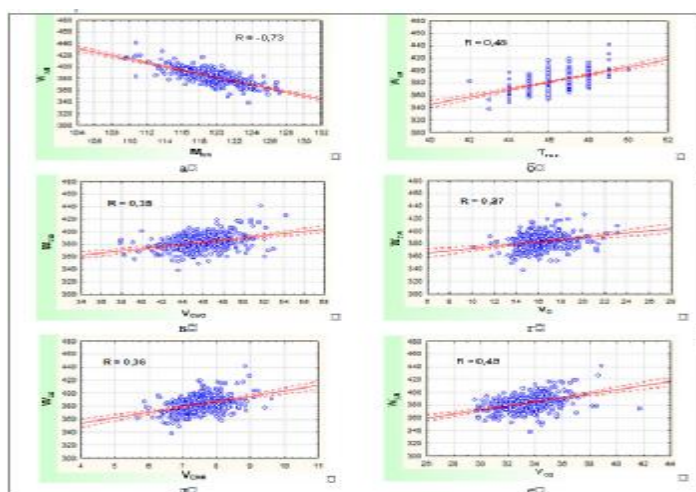


Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от параметров плавки ДСП-100: *а* – масса полупродукта, т; *б* – время работы под током, мин; *в* – удельный расход извести, кг/т; *г* – удельный расход кокса, кг/т; *д* – удельный расход природного газа, м<sup>3</sup>/т; *е* – удельный расход кислорода, м<sup>3</sup>/т

Для определения коэффициента полезного действия печи была проведена серия балансовых плавки, средние экономические показатели которых приведены в таблице 3. Исследуемые величины определялись в

период перегрева жидкого металла. Энергетический баланс за исследуемый период был составлен на основе фиксированных показаний контрольно-измерительных приборов. Данные энергетического баланса приведены в таблице 4.

Таблица 3 Среднеарифметические величины основных параметров выплавки стали в ДСП-100

Наименование параметра	Величина
Масса загружаемой металлической шихты, т	128
Масса жидкого металла на выпуске, т	112
Жидкий остаток в печи, т	0
Расход электроэнергии, кВт·ч	43510
Расход извести, т	4,4
Расход антрацита, т	2,4
Расход природного газа, м <sup>3</sup>	840
Расход кислорода, м <sup>3</sup>	3700

Таблица 4 Энергетический баланс периода перегрева жидкого металла в печи ДСП-100

Статья прихода, кВт·ч		Статья расхода, кВт·ч	
Наименование	Величина	Наименование	Величина
Электроэнергия	953,0	Перегрев жидкого металла	247,0
Природный газ	23,0	Расплавление извести	128,0
Кокс	95,0	Перегрев жидкого шлака	88,0
-	-	Потери тепла через поверхности шлака	190,0
-	-	Потери тепла через подины печи	8,0
-	-	Потери тепла уходящими газами и через водоохлаждаемые элементы печи	410,0
Всего	1071,0	Всего	1071,0

Степень экранированности столба электрической дуги слоем вспененного шлака можно оценить через расход энергии на перегрев жидкого металла, шлака, расплавление извести, а также потерями тепла через поверхность слоя вспененного шлака и подины печи. По результатам расчетов КПД электрической дуги за исследуемый период составил 0,69.

$$\text{«Скорость Нагрева»} = 15,6 - 0,776 \times 10^{-3} \times V3 + 0,712 \times 10^{-3} \times V4 - 0,784 \times 10^{-9} \times V1 \quad (1)$$

Результаты расчетов прогнозных значений функции отклика по формуле 1 и их отличие от данных наблюдений приведены в таблице 5.

Таблица 5 Прогнозные значения функции отклика и их разницы от наблюдений

Predicted & Residual Values (Spreadsheet1) Dependent variable: Скорость нагрева						
	Observed-Value	Predicted-Value	Residual	Standard-Pred. v.	Standard-Residual	Std. Err.-Pred.Val
1	10,000	10,061	-0,061	0,297	-0,732	0,056
2	9,000	8,991	0,009	0,886	0,106	0,082
3	13,000	13,019	-0,019	1,332	-0,224	0,081
4	12,000	11,953	0,047	0,745	0,570	0,068
5	9,000	8,977	0,023	0,894	0,280	0,079
Minimum	9,000	8,977	-0,061	0,894	-0,732	0,056
Maximum	13,000	13,019	0,047	1,332	0,570	0,082
Mean	10,600	10,600	0,000	0,000	0,000	0,073
Median	10,000	10,061	0,061	0,297	0,106	0,079

Результаты проведенных исследований показывают, что технология вспенивания шлака в ДСП-100, с проведением дополнительных проработок, позволит увеличить энергоэффективность дуговой плавки и более полно раскрыть имеющийся резерв по энергосбережению на данном промышленном агрегате.

#### Список литературы

1. Andreas Opfermann, Dirk Riedinger: Energy efficiency of Electric Arc

Furnace, BSW, Kehl, Germany.

2. Allen Wyatt, David Kundrat, Hagen Fuchs, Horst Schaefer: Reduction in Energy Consumption through Optimization of Oxygen and Carbon Injection // AISTech 2009 Proceedings – Volume I. Page 577 – 584.

3. Егоров А.В. Электрометаллургия стали и спецэлектрометаллургия. Электроплавильные печи черной металлургии: Учеб. пособие. – М.: МИСиС, 2007. – 428 с.

4. Ю.А.Гудим, И.Ю.Зинуров, А.Д.Киселев и др.: Рациональные способы интенсификации плавки в современных дуговых сталеплавильных печах // ЭМ. № 3. 2008. С. 2-5.

5. А.А. Халафян STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник — М: ООО «Бином-Пресс», 2007 г. -512 с.