

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДУГОВОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛОВ

*Н.Ш. Исакова, студент*

*Л.М. Симонян, д.т.н., профессор*

*А.А. Хилько, ассистент*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва, Россия)

**Аннотация.** Изучена интенсивность испарения железа в зависимости от силы тока и времени воздействия дугового разряда на металл в лабораторной печи. Определены эффективные значения температуры расплава и температура поверхности расплава в активной зоне под дугой при различных скоростях испарения. Проведен оценочный расчет удельного пылеобразования в дуговой печи постоянного тока. Экспериментальные расчетные данные относятся к испарению жидкого железа, тогда как на пылеобразование под воздействием дуг существенно влияет процесс плавления шихты, состав металла, наличие шлака и др. Полученные данные согласуются с промышленными значениями удельного пылеобразования при принятых допущениях.

**Ключевые слова:** интенсивность испарения, воздействие дуги, активная зона, пылеобразование, скорость испарения, дуговая печь постоянного тока.

*E-MAIL:* aakhilko01@gmail.ru

Электросталеплавильному способу принадлежит ведущая роль в производстве качественной и высоколегированной стали. Несмотря на положительные экологические показатели процесса электроплавки, существует ряд проблем, требующих изучения. Одна из них заключается в том, что в результате интенсификации процесса плавки путем повышения мощности трансформаторов и использования инжекционных технологий удельное пыле- и газообразование в современных дуговых печах, по сравнению с традиционными, увеличивается в 1,5 – 2 раза. В результате на печах с производительностью 80 – 150 т/ч выход годного снижается до 88 – 85 % [1].

Одним из основных источников образования пыли при выплавке стали в электропечи являются высокотемпературные процессы, протекающие под воздействием электрических дуг на шихту (ванну). В работе [2] показано, что с увеличением температуры поверхности ванны в зоне контакта с дугой увеличивается количество полезного тепла, расходуемого на нагрев, но в то же время увеличивается интенсивность испарения. Это связано с тем, что только часть теплового потока от дуг усваивается всей шихтой, имеющей более низкую теплопроводность, чем жидкий металл. Остальная же часть этого тепла идет на расплавление и локальный перегрев металла до температуры 3000 °С и испарения [3]. Температура поверхности жидкой ванны под дугой также достаточно высокая на протяжении всей плавки и может достигать температуры кипения металла. За счет этого одним из основных механизмов пылеобразования при электродуговой плавке является

испарение железа (как основного составляющего шихты) и других элементов из ванны.

Интенсивность испарения металла зависит от типа и вместимости печи, величины вводимой мощности, периода плавки и др. В работе [4] рассмотрены процессы пылеобразования в дуговых печах переменного и постоянного тока и сделан вывод о том, что в печах постоянного тока интенсивность пылеобразования в 6 – 8 раз ниже, чем в печах переменного тока. Объясняется это тем, что при прямой полярности (анод – ванна) происходит интенсивное перемешивание металла за счет электромагнитных сил, что способствует отводу тепла из-под дуг и препятствует локальному перегреву в зоне анодного пятна. Соответственно, интенсивность испарения металла снижается.

Несмотря на возросший в последнее время интерес к вопросу пылеобразования при электроплавке, отсутствует приемлемая методика количественной оценки интенсивности образования пыли в зависимости от технологических параметров, что не позволяет ранжировать факторы воздействия и сосредоточить усилия по снижению его интенсивности в наиболее значимых направлениях. Кроме того, количественные показатели удельного пылеобразования в зависимости от различных факторов по разным источникам отличаются [2, 3]. На взгляд авторов, одним из значимых факторов при электроплавке является процесс испарения металла при локальном перегреве поверхности расплава под дугами. Поэтому весьма актуально исследование процесса пылеобразования непосредственно при воздействии на металл электрических дуг.

В работе изучена интенсивность испарения в зависимости от силы тока и времени воздействия дугового разряда на металл в лабораторных условиях. Особенностью проведенных экспериментов является то, что дуга полностью покрывала поверхность образцов, поэтому полученные в опытах результаты относятся непосредственно к зоне дугового разряда.

Объектом исследования служили образцы технического железа ( $C = 0,01\%$ ). Для изучения процесса испарения под воздействием дуги использовали лабораторную плазменно-дуговую печь постоянного тока в дуговом режиме. Плазматрон с выносным графитовым катодом диаметром 6 мм установлен в верхней части корпуса печи соосно с тиглем.

Исследуемый образец железа (2 – 3 г), обмотанный проволокой, помещали в графитовый тигель с внутренним диаметром 12 мм и высотой 8 мм и устанавливали на водоохлаждаемую медную подложку (анод), обеспечивая контакт с катодом. Межэлектродное расстояние составляло 7 мм. Камеру герметизировали, откачивали воздух, заполняли аргоном, включали систему водоохлаждения, регулятор тока, установив необходимое значение силы тока от 167 до 200 А. Рабочее напряжение составляло 23 – 27 В, расход аргона – 2 л/мин, давление в камере печи – 0,1 МПа, продолжительность дугового нагрева – от 1 до 2,5 мин. За процессом плавки наблюдали через два смотровых окошка. Количество испарившегося железа определяли по разности массы образца до и после плавки, скорость испарения – по отношению убыли массы образца к продолжительности плавки.

Таблица 1

Результаты первой серии экспериментов,  
 $I = 177\text{ А}; U = 27\text{ В}$

Показатель	Образец			
	1	2	3	4
Масса металла $m$ , г	2,90	2,55	2,32	1,77
Время плавки $t$ , с	60	90	120	150
Изменение массы $\Delta m$ , г	0,12	0,16	0,27	0,57
Скорость испарения, $\Delta m/t$ , г/с	0,0020	0,0018	0,0022	0,0038

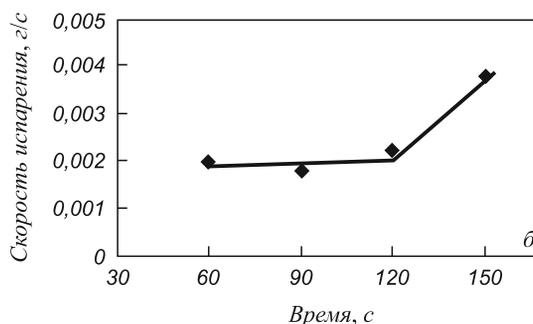
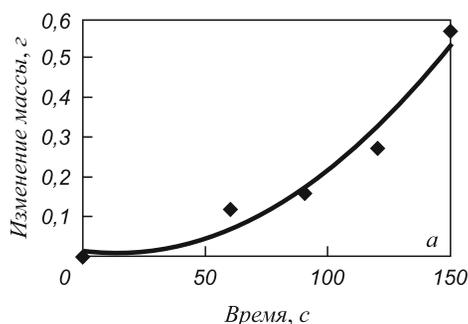


Рис. 1. Зависимости изменения массы испарившегося железа (а) и скорости испарения (б) от времени

Были проведены две серии опытов. В первой серии изучали интенсивность пылеобразования в зависимости от времени плавки при постоянной силе тока 177 А. На основе этих экспериментов определяли удельную скорость испарения и температуру поверхности расплава.

Результаты экспериментов представлены в табл. 1 и на рис. 1.

На рис. 1, а представлена зависимость  $\Delta m$  от  $t$ . Постоянство скорости испарения в начальный период плавки ( $t < 120$  с, рис. 1, б) указывает на то, что температура в этом интервале практически неизменна.

Оценим удельную скорость испарения железа

$$w = \frac{\Delta m}{tS}, \quad (1)$$

где неизвестной величиной является площадь испаряющейся поверхности  $S$ .

Обычно активной зоной испарения является зона анодного пятна, где интенсивность испарения существенно выше, чем за его пределами. Размер анодного пятна зависит от силы тока и интенсивности теплоотвода и может быть определен из соотношения  $j = I/S_{\text{ан}} = (2 - 10) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ , где  $j$  – плотность тока [5]. При силе тока 177 А диаметр анодного пятна, исходя из этого соотношения, может принимать значения от 4,8 до 10,6 мм. В первом приближении можно принять, что диаметр анодного пятна, т.е. активной зоны испарения, соизмерим с диаметром катода, что справедливо для дуг с низкими значениями силы тока [6].

При равенстве диаметров анодного пятна диаметру катода (рис. 2)

$$S_{\text{ан}} = \frac{\pi d_{\text{эл}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 2,83 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, \quad (2)$$

где  $d_{\text{эл}} = d_{\text{ан}} = 6 \text{ мм} (6 \cdot 10^{-3} \text{ м})$ .

Соответственно удельная скорость испарения в зоне анодного пятна будет равна

$$w_1 = \frac{\Delta m_1}{\Delta t S_{\text{ан}}} = \frac{0,12 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 2,83 \cdot 10^{-5}} = 0,071 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}). \quad (3)$$

Значения удельных скоростей испарения остальных образцов получены аналогично.

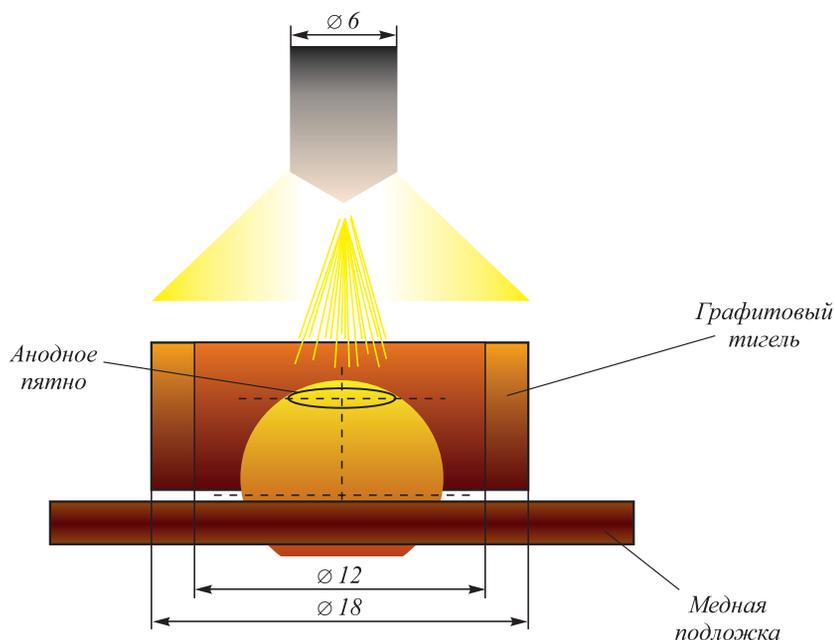


Рис. 2. Схема расположения капли при дуговом нагреве

Если предположить, что испарение происходит не только в зоне анодного пятна, а по всей поверхности образца, то удельная скорость испарения будет ниже. Расчетные значения поверхности образцов  $S_{\text{пов}}$  и удельных скоростей испарения  $w_{\text{пов}}$  приведены в табл. 2. Зависимости  $w_{\text{ан}}$  и  $w_{\text{пов}}$  от времени плавки приведены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что в рассматриваемых условиях интенсивность испарения из зоны анодного пятна в 1,5 раза выше, чем средняя по поверхности образца. Удельная скорость испарения расплава железа практически постоянна в интервале до 120 с и возрастает с 0,07 до 0,13 кг/(м<sup>2</sup>·с) при увеличении продолжительности процесса от 120 до 150 с. Это возрастание связано, как было указано выше, с повышением температуры металла при увеличении времени обработки, которое, в свою очередь, вызвано разогревом медной подложки и уменьшением скорости теплоотвода от графитового тигля.

Из уравнения (1) видно, что величина  $w$  существенно зависит от площади активной зоны испарения, т.е. от величины анодного пятна. В данной серии экспериментов величина анодного пятна была постоянна, поскольку  $I = \text{const}$ .

По экспериментальным данным скорости испарения расплава железа была рассчитана температура поверхности расплава и температура анодного пятна по методике, представленной в работе [7] с использованием уравнения Ленгмюра:

$$w = \alpha p^0 \sqrt{\frac{A}{2\pi RT}}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Ленгмюра;  $p^0$  – давление насыщенного пара элемента, Па;  $A$  – атомная масса элемента, кг;  $R$  – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(К·моль);  $T$  – температура, К.

Таблица 2

**Результаты расчета скорости испарения,  $I = 177$  А;  $U = 27$  В;  $S_{\text{ан}} = 28,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>**

Показатель	Образец			
	1	2	3	4
Масса металла $m$ , г	2,90	2,55	2,32	1,77
Изменение массы $\Delta m$ , г	0,12	0,16	0,27	0,57
Время плавки $t$ , с	60	90	120	150
Площадь поверхности образца, $S_{\text{пов}} \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup>	49,0	45,0	42,0	36,0
Отношение площади анодного пятна к площади поверхности образца, $S_{\text{ан}}/S_{\text{пов}}$	0,58	0,63	0,67	0,79
Удельная скорость испарения с поверхности анодного пятна $w_{\text{ан}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,071	0,063	0,079	0,134
Удельная скорость испарения, $w_{\text{пов}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,041	0,040	0,052	0,107

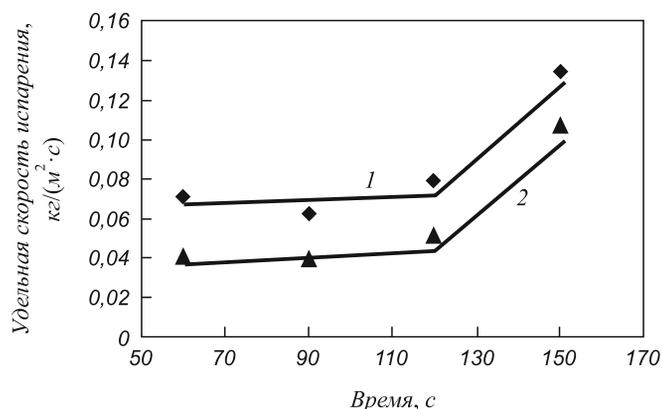


Рис. 3. Зависимость удельной скорости испарения от времени: 1 – поверхность анодного пятна; 2 – поверхность образца

Следует отметить, несмотря на то, что уравнение Ленгмюра выведено для условий, близких к вакууму, в данном случае оно также применимо, поскольку в рассматриваемых условиях, т.е. при обдуве расплава газом, процесс лимитируется актом испарения и нет диффузионных ограничений.

Все параметры в уравнении (4) известны, кроме коэффициента Ленгмюра  $\alpha$  и температуры. Давление насыщенного пара железа равно [8]

$$\lg p_{\text{Fe}}^0 = 9,57 - \frac{20\,630}{T}. \quad (5)$$

Прологарифмировав уравнение (4) и подставив выражение (2), получим

$$\lg w = \lg \alpha + \left( 9,57 - \frac{20\,630}{T} \right) + \frac{1}{2} \lg \frac{A}{2\pi RT}, \quad (6)$$

содержащее две неизвестные величины,  $\alpha$  и  $T$ .

Подставляя экспериментальные значения  $w$  в уравнение (6), решаем систему уравнений для трех значений  $\alpha$  и методом итераций находим величину  $T$ .

Результаты расчета представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Значения температур при  $\alpha = 1$  отвечают экспериментальным данным [9, 10], полученным ранее в аналогичных условиях плавки. Значение коэффициента Ленгмюра  $\alpha$ , равное 1, свидетельствует о том, что в условиях плазменно-дугового нагрева в атмосфере ар-

гона за счет постоянного отдува газа от поверхности расплава нет препятствий для испарения с поверхности [11]. График зависимости скорости испарения от температуры поверхности расплава с экспериментальными точками приведен на рис. 4.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при дуговом нагреве железа в лабораторной печи при  $I = 177 \text{ А}$  ( $j = 6,26 \text{ А/мм}^2$ ) температура анодного пятна расплава принимает значения 2725 – 2851 К, а удельная скорость испарения 0,071 – 0,134 кг/(м<sup>2</sup>·с), эффективная температура поверхности расплава изменяется в интервале от 2655 до 2814 К, а удельная скорость испарения от 0,041 до 0,107 кг/(м<sup>2</sup>·с).

Как известно, температура анодного пятна зависит от плотности тока, а плотность тока определяется как отношение силы тока к площади анодного пятна. Обычно в режиме свободно горящей дуги плотность тока практически не зависит от силы тока, поскольку с увеличением силы тока диаметр и площадь сечения столба также, как и размеры активных пятен, увеличиваются. В сварочных дугах эта зависимость в ряде случаев имеет степенной характер, поэтому с увеличением силы тока разряда плотность тока может уменьшаться. [6]. В данном случае дуга обдувалась аргоном, поэтому ее заметного расширения не происходило. Поскольку при этом площадь анодного пятна практически не менялась, то плотность тока увеличивалась прямо пропорционально силе тока.

Поэтому во второй серии экспериментов изучали процесс испарения железа в зависимости от силы тока.

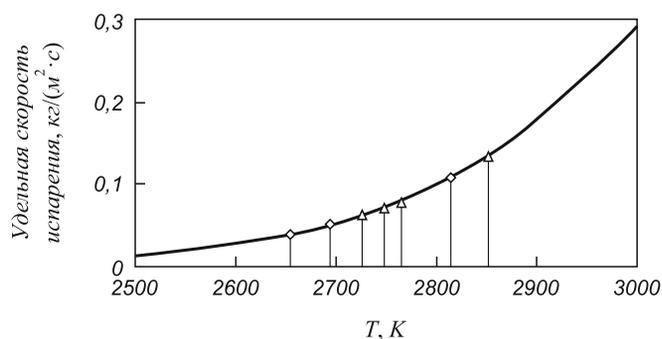


Рис. 4. Зависимость скорости испарения железа от температуры расплава при  $\alpha = 1$ :  $\Delta$  – в анодном пятне;  $\diamond$  – с поверхности образца

Таблица 3

**Результаты расчета температуры анодного пятна и поверхности образца при трех значениях  $\alpha$**

t, с	$w_{\text{ан}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$T_{\text{ан}}, \text{ К}$			$w_{\text{пов}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$T_{\text{пов}}, \text{ К}$		
		$\alpha = 1$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$		$\alpha = 1$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$
60	0,071	2748	2865	3040	0,041	2655	2766	2929
90	0,063	2725	2845	3011	0,040	2654	2764	2927
120	0,079	2765	2880	3059	0,052	2695	2809	2975
150	0,134	2851	2980	3170	0,107	2814	2939	3120

На основе этих экспериментов была получена зависимость температуры поверхности расплава от силы тока.

Значения силы тока изменяли от 167 до 200 А, продолжительность плавки была постоянной и составляла 120 с. Результаты экспериментов представлены в табл. 4.

В данной серии экспериментов интенсивность испарения выше, чем в первой серии при одинаковых значениях силы тока. Это связано с тем, что скорость теплоотвода от тигля была ниже, в результате чего эффективная температура металла выше.

Результаты расчета температуры анодного пятна в зависимости от силы тока приведены в табл. 5

Из рис. 5 видно, что при увеличении силы тока удельная скорость испарения также увеличивается. Это связано с повышением температуры зоны испарения – анодного пятна.

Как отмечалось выше, в режиме свободно горящей дуги, характерной для промышленных печей, плотность тока практически не зависит от силы тока, поскольку с увеличением силы тока диаметр и площадь сечения столба так же, как и размеры анодного пятна, увеличиваются. Для этих условий количество испарившегося вещества  $m$ , кг при дуговом нагреве можно определить из соотношения [7]:

$$\Delta m = kI^n t, \quad (7)$$

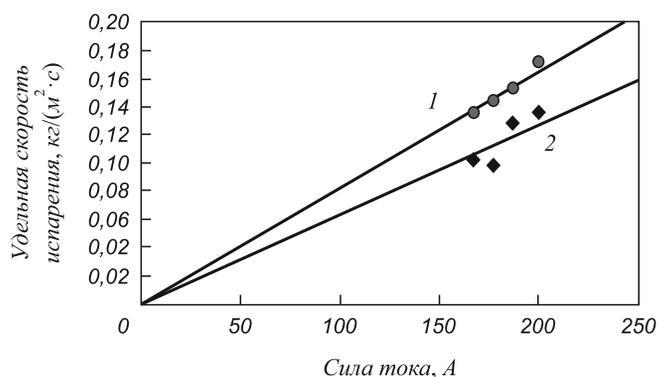


Рис. 5. Зависимость удельной скорости испарения от силы тока: 1 – поверхность анодного пятна; 2 – поверхность образца

где  $I$  – сила тока, А;  $t$  – длительность плавки, ч;  $k$  и  $n$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от условий плавки.

Величины  $k$  и  $n$  можно определить графически, прологарифмировав уравнение (7)

$$\ln(\Delta m/t) = \ln k + n \ln I \quad (8)$$

и построив зависимость  $\ln(\Delta m/t)$  от  $\ln(I)$ .

Если подставить данные, полученные авторами во второй серии экспериментов в выражение (8), то полу-

Таблица 4

Результаты экспериментов при изменении силы тока,  $t = 120$  с;  $S_{\text{ан}} = 28,26 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>

Показатель	Образец			
	5	6	7	8
Сила тока $I$ , А	167	177	187	200
Плотность тока $j$ , А/мм <sup>2</sup>	5,91	6,26	6,62	7,08
Масса металла $m$ , г	1,94	2,28	1,65	1,77
Изменение массы $\Delta m$ , г	0,46	0,49	0,52	0,58
Площадь поверхности образца, $S_{\text{пов}} \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup>	38,0	42,0	34,0	36,0
Отношение площади анодного пятна к площади поверхности образца, $S_{\text{ан}}/S_{\text{пов}}$	0,74	0,67	0,83	0,79
Удельная скорость испарения с поверхности анодного пятна, $w_{\text{ан}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,136	0,144	0,153	0,171
Удельная скорость испарения, $w_{\text{пов}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	0,102	0,097	0,128	0,136

Таблица 5

Результаты расчета эффективной температуры и температуры анодного пятна расплава в экспериментах второй серии

$I$ , А	$w_{\text{ан}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$T_{\text{ан}}$ , К			$w_{\text{пов}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$T_{\text{пов}}$ , К		
		$\alpha = 1$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$		$\alpha = 1$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,2$
167	0,136	2855	2985	3175	0,102	2806	2929	3110
177	0,144	2866	2995	3185	0,097	2798	2921	3101
187	0,153	2878	3004	3198	0,128	2845	2973	3160
200	0,171	2898	3030	3225	0,136	2856	2985	3174

чим линейное уравнение  $y = 1,33x - 10,8$  (рис. 6), где  $\ln k = -10,8$  ( $k = 2,04 \cdot 10^{-5}$  кг/(А<sup>n</sup>·ч)),  $n = \frac{\ln(\Delta m/t)}{\ln I} = 1,33$ .

Полученную зависимость  $m = 2,04 \cdot 10^{-5} \cdot I^{1,33} t$  использовали для оценки интенсивности испарения в зоне анодного пятна на промышленных дуговых сталеплавильных печах постоянного тока. Например, для дуговых печей постоянного тока (ДППТ) диаметр электрода – 600 мм, сила тока – 98,7 кА [12], скорость испарения металла (железа)  $\Delta m/t = 2,04 \cdot 10^{-5} \cdot 98700^{1,33} = 89,55$  кг/ч, а при средней продолжительности плавки 0,7 ч и вместимости печи 100 т – 0,63 кг/т. Результаты аналогичного расчета удельного пылеобразования для печей постоянного тока различной вместимости представлены в табл. 6.

Для сравнения полученных результатов с литературными данными необходимо учесть, что в атмосфере печи железо окисляется и пыль состоит не из чистого металла, а из его оксидов. Тогда, если полученные данные для испарения железа пересчитать на оксид FeO, получим:  $\Delta m/t = 2,04 \cdot 10^{-5} \cdot 98700^{1,33} \cdot (56 + 16)/56 = 115$  кг/ч, а удельное пылеобразование составит 0,8 кг/т стали. Для высших оксидов железа эта величина будет соответственно больше.

Известно, что в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) только под воздействием дуг образуется пыли от 6 до 8 кг/т стали [1]. По данным работы [4], образование пыли в ДППТ в 6 – 8 раз меньше, чем в ДСП,

что составляет около 1 – 1,5 кг/т стали. Это по порядку величины согласуется с результатами авторов, хотя в них не учтено испарение других компонентов, присутствующих в стали. Полученные результаты оценочны, поскольку погрешность в определении площади активной зоны испарения (анодного пятна) велика. В то же время, они не противоречат литературным данным.

Следует отметить, что экспериментальные расчетные данные относятся к испарению жидкого железа, тогда как на пылеобразование под воздействием дуг существенно влияет процесс плавления шихты, состав металла, наличие шлака и др.

**Выводы.** На основе проведенных экспериментов в лабораторной печи постоянного тока была выявлена зависимость интенсивности испарения железа от времени воздействия дуги на металл и силы тока. Отмечено, что увеличение данных параметров способствует росту эффективной температуры металла и температуры поверхности активной зоны расплава. Данные температуры были рассчитаны методом итераций и отвечают экспериментальным данным, полученным ранее. В результате исследования был произведен оценочный расчет удельного пылеобразования в дуговой печи постоянного тока разной вместимости. Полученные данные согласуются с промышленными значениями удельного пылеобразования при принятых допущениях.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Симонян Л.М., Семин А.Е. Техно-экологические аспекты плавки в ДСП: Курс лекций. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. – 155с.
2. Пятаченко О.Г., Пономаренко А.Г., Корзун Е.Л. Металлургия и обработка металлов: Матер. научно-техн. конф. студентов физико-металлург. фак. ДонНТУ. – Донецк, 2005. Вып. 8. С. 42 – 44.
3. Еланский Г.Н., Шиширов М.В., Сосонкин О.М. и др. Исследование угара железа в дуговых электропечах и изменения физических свойств стали при внепечной обработке: Тр. научных чтений «Физикохимия металлических расплавов». – М. 2007. Ноябрь.
4. Малиновский В.С., Ярных Л.В. Дуговые печи постоянного тока нового поколения – новый путь эффективной реконструкции металлургического машиностроения России: Тр. VI конгресса сталеплавильщиков. 2001. С. 213 – 220.
5. Симонян Л.М. Взаимодействие металлических расплавов с активной газовой фазой пограничной области разряда при плазменном нагреве: Автореф. дис. ... доктора техн. наук. – М.: МИСиС, 1999. – 52 с.
6. Солодский С.А., Брунов О.Г., Ильященко Д.П. Источники питания для дуговой сварки: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 165 с.
7. Симонян Л.М., Хилько А.А. Пылеобразование при выплавке стали (электросталеплавильное производство) Изд-во Lambert Academic Publishing, ISBN 978-3-8465-4256-9. 2011. – 99 с.
8. Несмеянов А.Н. Давление пара химических элементов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 396 с.
9. Симонян Л.М., Семин А.Е., Кочетов А.И. Металлургия спецсталей: Курс лекций. – М.: Учеба, 2007. – 180 с.

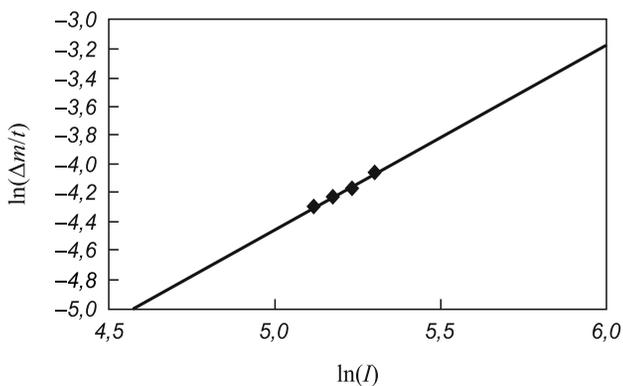


Рис. 6. Зависимость ln(Δm/t) от ln(I)

Таблица 6

**Результаты расчета удельного образования пыли в различных ДППТ**

Вместимость, т	Сила тока, кА	Скорость испарения, кг/ч	Удельное пылеобразование Fe/FeO, кг/т
15	24,5	14,04	0,66/0,8
30	43,4	30,0	0,70/0,9
60	67,9	54,5	0,63/0,8
100	98,7	89,6	0,63/0,8

10. Симонян Л.М. // Физика и химия обработки материалов, 2000. № 3. С. 91 – 92.
11. Simonyan L.M., Khilko A.A. Dust formation in Electric Arc Furnace // 5th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking 2012. Dresden. Oct. 1 – 3.
12. Егоров А.В., Моржин А.Ф. Дуговые сталеплавильные печи постоянного тока. – М.: Ин-т «Черметинформация», 1992 Вып. 2. – 23 с.

© 2014 г. АН.ИИ. Исакова, Л.М. Симонян, А.А. Хилько  
Поступила 4 декабря 2013 г.

## THE RESEARCH OF DUST FORMATION DURING THE ARC HEATING OF METALS

*N.S. Isakova, Student*

*A.A. Hil'ko, Assistant*

*L.M. Simonjan, Dr.Eng., Professor*

National University of Science and Technology "MISIS" (Moscow, Russia)

E-MAIL: aakhilko01@gmail.com

**Abstract.** The intensity of iron evaporation was studied depending on the current strength and time of arc effect on metal in a laboratory furnace. The effective melting temperatures and temperatures of the liquid metal surface in the arc core have been calculated at different evaporation rates. The study includes the estimate calculation of the specific dust formation in a DC arc furnace. The experimental calculated data are related to evaporation of liquid iron, whereas melting process, the composition of metal, the presence of slag make the significant influence on dust formation under the arc effect. These data are consistent with industry values of specific dust formation at accepted assumptions.

**Keywords:** intensity of evaporation, arc's effect, the core, dust formation, evaporation rate, DC arc furnace.

### REFERENCES

1. Simonjan L.M., Semin A.E. *Tehniko-jekologicheskie aspekty plavki v DSP: kurs lekcij* (Technical and environmental aspects of melting in the EAF: lectures). Moscow: Izd. Dom MISiS, 2011. 155 p.
2. Pjatachenko O.G., Ponomarenko A.G., Korzun E.L. *Ocenka vlijanija moshhnosti pechnogo transformatora na poteri metalla s ugarom pri plavke v sverhmoshhnyh DSP* (Assessing the furnace transformer impact of metal loss with waste during melting in heavy EAF) *Metallurgija i obrabotka metallov: materialy nauch.-tehn. konf. studentov fiziko-metallurg. fak. DonNTU*. (Metallurgy & Metalworking: scientific and engineering materials of students' conf. of physical metallurgical faculty DNTU) Issue 8. Doneck, 2005. pp. 42 – 44.
3. Elanskij G.N., Shishimirov M.V., Sosonkin O.M., Filippov K.S., Sazonov A.P. *Issledovanie ugara zheleza v dugovyh jelektropechah i izmenenija fizicheskikh svojstv stali pri vnepechnoj obrabotke*. (Research of burn iron electric arc and changes in the physical properties of the steel in ladle treatment). *Tr. nauchnyh chtenij "Fizikohimija metallicheskih rasplavov"* (Proceedings of the Scientific Conference "Physical chemistry of metal melts"), Moscow, 2007.
4. Malinovskij V.S., Jarnyh L.V. *Dugovye pechi postojannogo toka novogo pokolenija – novyj put' jeffektivnoj rekonstrukcii metallurgicheskogo mashinostroenija Rossii/ Trudy 6-go kongressa staleplavil'shhikov*. (DC arc furnace of a new generation – a new way of effective reconstruction of metallurgical machinery in Russia. Proceedings of the 6th Congress of Steelmakers). 2001. pp. 213 – 220.
5. *Vzaimodejstvie metallicheskih rasplavov s aktivnoj gazovoj fazoj pograničnoj oblasti razrjada pri plazmennom nagreve*. Dokt., Diss. Avtoreferat (Interaction of molten metal with an active gas phase boundary region of the plasma discharge at heating: abstract dis. Doctor of Tech. Sci.) Moscow, 1999. 52 p.
6. Solodskij S.A., Brunov O.G., Il'jashhenko D.P. *Istochniki pitanija dlja dugovoj svarki: uchebnoe posobie* (Power sources for arc welding: a tutorial) Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2012. 165 p.
7. Simonjan L.M., Hil'ko A.A. *Pyleobrazovanie pri vyplavke stali (jelektrostaleplavil'noe proizvodstvo)* (Dusting for steelmaking (electric furnace steelmaking)) Iz-vo «Lambert Academic Publishing», ISBN 978-3-8465-4256-9 2011g., 99 p.
8. Nesmejanov A.N. *Davlenie para himicheskikh jelementov* (The vapor pressure of the chemical elements). Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1961.
9. Simonjan L.M., Semin A.E., Kochetov A.I. *Metallurgija specstalej. Kurs lekcij*. (Metallurgy of special steels. Course of lectures). M.: Ucheba, 2007. 180 p.
10. Simonjan L.M. *Fizika i himija obrabotki materialov*, 2000, № 3. pp. 91 – 92.
11. Simonyan L.M., Khilko A.A. Dust formation in Electric Arc Furnace – 5th International Congress on the Science and Technology of Steelmaking. Dresden, 2012 Oct. 1 – 3.
12. Egorov A.V., Morzhin A.F. *Dugovye staleplavil'nye pechi postojannogo toka* (Electric arc furnaces DC). Moscow: In-t «Черметинформация», 1992.

Received 4 December 2013