

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ ГРАФИТОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ И РАСПЛАВОМ КАРБИДА КАЛЬЦИЯ

Е.Я.Калашников, Б.А.Капсаямов, В.М.Шевко  
 ТОО «Казхиминвест», г.Тараз,  
 ЮКГУ им.М.Ауезова, г.Шымкент

Несмотря на достаточное число работ по распределению мощности, выделяемой в карбидной печи [1], и определению, в частности, что 40,2% [2] мощности выделяется в дуговом разряде, вопрос о возможности горения дуги в расплаве карбида кальция до настоящего времени не исследован. В настоящей работе приведены результаты исследований по определению условий существования электрической дуги между графитовым электродом и расплавом карбида кальция (при условии погружения электрода в расплав карбида кальция).

Исследования проводили на лабораторной установке, в которой в качестве нагревательной печи служила печь Таммана. В опытах использовали карбид кальция с содержанием основного вещества 80% и имеющего  $T_{пл}=1846^{\circ}\text{C}$  [3]. Графитовый тигель с карбидом кальция нагревали в печи до температуры  $1900^{\circ}\text{C}$ . Затем в него на различную глубину погружали графитовый электрод диаметром 0,8см. Глубина погружения электрода в расплав определялась по линейке. Момент зажигания дуги определялся по осциллограмме напряжения, подаваемого на промежуток электрод-дно тигля. Напряжения зажигания устойчивой дуги определялись при условии, когда напряжение зажигания было равно напряжению гашения дуги при увеличении силы тока. При проведении исследований высота расплава оставалась постоянной и равной 8 см. Диаметр тигля составлял 4,5 см. Температура расплава контролировалась вольфрамиевой термопарой. Осциллограммы снимались осциллографом марки С1-81.

На рисунке 1 приведено влияние погружения электрода в расплав карбида кальция на напряжение зажигания ( $U_3$ ) и напряжения устойчивого горения дуги ( $U_0$ ), из которого следует, что зависимости имеют экстремальный характер, с максимумом при  $h=2\text{см}$  для  $U_3=39\text{В}$  и  $U_0=58\text{В}$ . При этом зависимости  $U_3=f(h_{эл}/d_{эл})$  и  $U_0=f(h_{эл}/d_{эл})$  описываются выражениями:

$$U_3 = 23 + 3,05(h_{эл}/d_{эл}) + 17,93(h_{эл}/d_{эл})^2 - 14,47(h_{эл}/d_{эл})^3 + 4,60(h_{эл}/d_{эл})^4 - 0,67(h_{эл}/d_{эл})^5 + 0,04(h_{эл}/d_{эл})^6$$

$$U_0 = 43 - 31,53(h_{эл}/d_{эл}) + 56,7(h_{эл}/d_{эл})^2 - 30,88(h_{эл}/d_{эл})^3 + 7,81(h_{эл}/d_{эл})^4 - 0,96(h_{эл}/d_{эл})^5 + 0,05(h_{эл}/d_{эл})^6$$

Влияние  $h_{эл}/d_{эл}$  на ток зажигания (при устойчивом горении дуги) приведены на рисунке 2. Возрастающий характер этой зависимости имеет вид:

$$I_0 = 72,85 \cdot (h_{эл}/d_{эл})^{0,56}$$

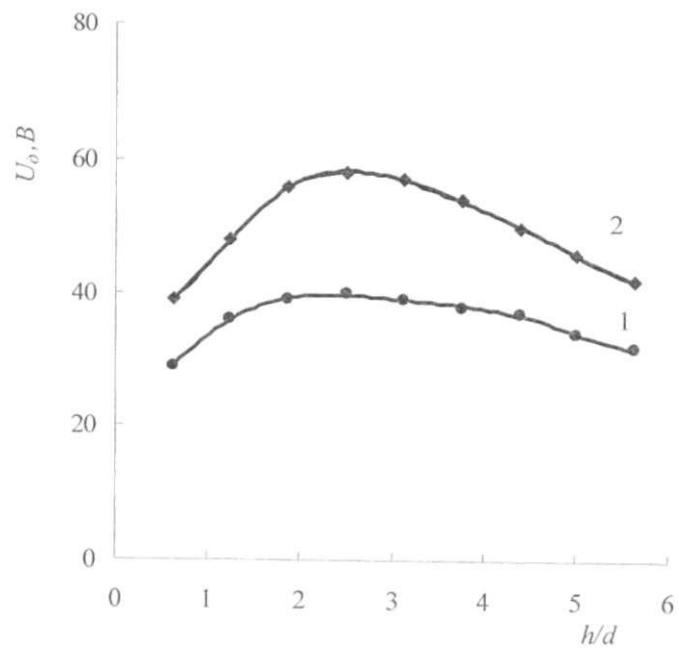


Рисунок 1 - Влияние заглубления электрода в расплав карбида кальция на напряжение зажигания (1) и устойчивого горения дуги (2)

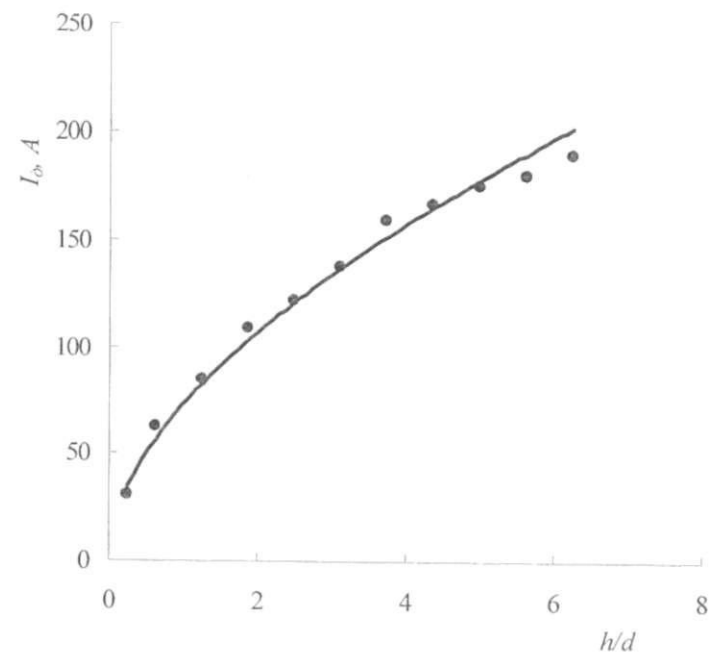
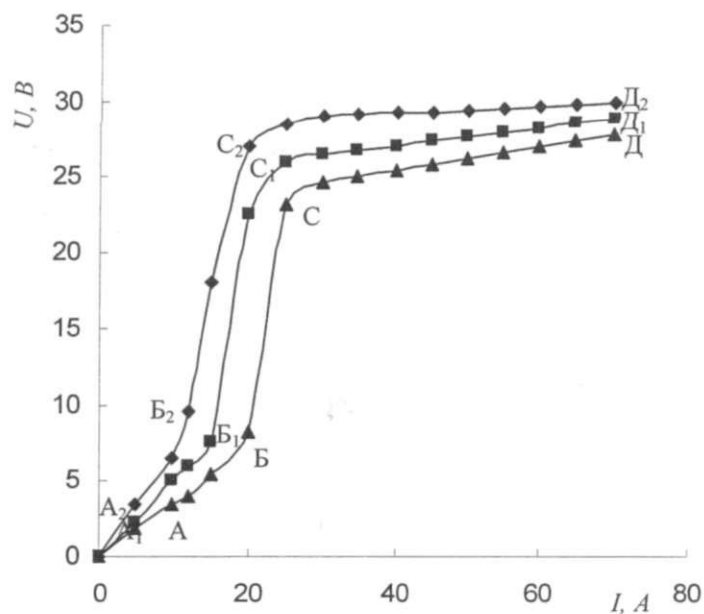


Рисунок 2 - Влияние заглубления электрода в расплав карбида кальция на силу тока дуги



1-Т-1850°С; 2- Т-1900°С; 3- Т-1950°С;  
Рисунок 3 -  $U$ - $I$  характеристики системы электрод-расплав карбида кальция

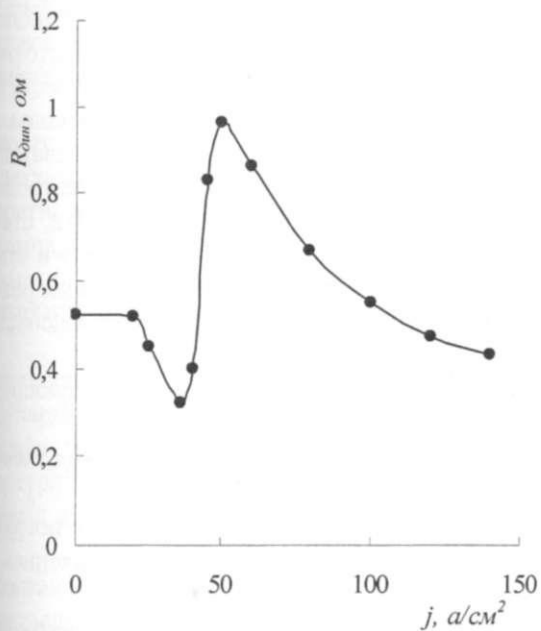


Рисунок 4 - Влияние плотности тока в электроде на динамическое сопротивление системы электрод-расплав карбида кальция при  $T=1850^{\circ}\text{C}$  и  $h_{\text{эл}} = 10\text{мм}$

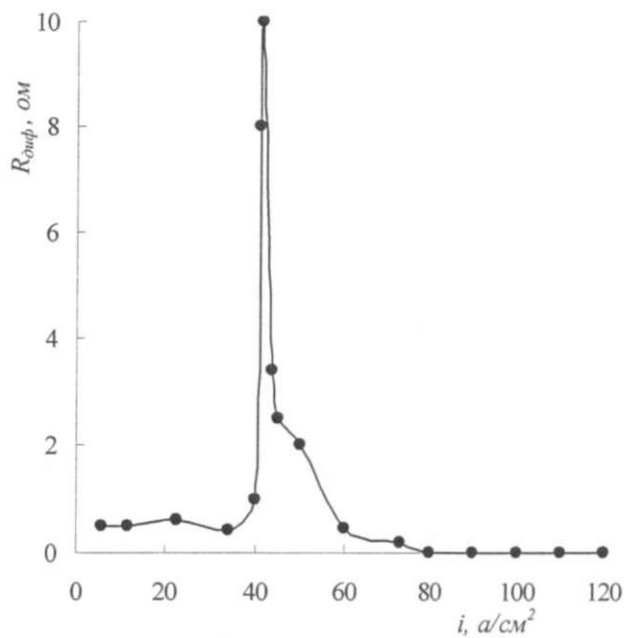


Рисунок 5 - Влияние плотности тока в электроде на дифференциальное сопротивление системы электрод-расплав карбида кальция при  $T=1850^{\circ}\text{C}$  и  $h_{\text{эл}} = 10\text{мм}$

Наиболее полно отражением электрофизических процессов являются вольтамперные характеристики ( $U-I$ ) промежутка электрод-под. На рисунке 3 приведены  $U-I$  характеристики промежутка электрод-под, полученные при различных температурах, из которых следует, что  $U-I$  характеристики имеют три участка (АВ;  $A_1B_1$ ;  $A_2B_2$ ), (ВС;  $B_1C_1$ ;  $B_2C_2$ ) и (СД;  $C_1D_1$ ;  $C_2D_2$ ), соответствующие различным режимам. Участки  $A_1B_1$  соответствуют режиму «сопротивление»,  $B_1C_1$  – «переходной»,  $C_1D_1$  – режиму «дуга». Т.е. параллельно (при низком напряжении) вокруг электрода еще не созданы условия для возникновения разряда, режим работы системы электрод-карбид определяется только проводимостью жидкого карбида кальция. При достижении определенного значения напряжения наблюдается пробой газовой полости вокруг электрода и возникает первоначально неустойчивой дуговой разряд, переходящий при увеличении напряжения в устойчиво горящую дугу. После этого, при практически постоянном напряжении, ток начинает неограниченно возрастать.

Подобная картина соответствует теории проводимости газов (несамостоятельная проводимость, имеющая место при повышении температуры газов, и самостоятельная проводимость, проявляющаяся при напряжении, достаточном для образования лавины электронов и ионов, преодолевающей потенциальный барьер в приэлектродном пространстве)[4].

Сложный характер имеет зависимость сопротивления системы электрод-расплав от тока. (Имеются в виду динамическое сопротивление, определяемое отношением мгновенных значений напряжения и тока):

$R_{дин} = U_m \cdot \sin \omega t / (I_m \sin \omega t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t / (\sqrt{2} \cdot I \sin \omega t) = U/I$  и дифференциальное сопротивление, определяемое как отношение малого превращения напряжения к соответствующему приращению тока разрядного промежутка, определяемое по  $U$  и  $I$  характеристике дуги:

$R_{диф} = \Delta U / \Delta I$  [5]. Зависимости динамического и дифференциального сопротивлений от плотности тока  $j$  на электроде  $R_{дин} = f(j)$  и  $R_{диф} = f(j)$  при этих же температурах показаны на рисунках 4, 5. Поскольку, как было указано выше, вольтамперная характеристика промежутка электрод-под представляют собой совокупность трех участков с различной проводимостью, то и зависимости  $R_{дин} = f(j)$  и  $R_{диф} = f(j)$  имеют различный вид на этих участках. При наличии только расплава и работе установки в режиме "сопротивление",  $R_{дин}$  и  $R_{диф}$  остаются постоянными. С приближением расплава к температуре кипения и появлением газовой фазы, то есть с началом переходного режима, сопротивление приэлектродного пространства несколько уменьшается (сопротивление газового промежутка шунтируется сопротивлением расплава). В дальнейшем, с увеличением газовой фазы и образованием газовой полости вокруг электрода  $R_{дин}$  и  $R_{диф}$  резко возрастают. На этом участке отмечается стабилизация величины тока, стекающего с электрода, а также, как было установлено в исследованиях [6], возможно и его уменьшение (или уменьшение плотности тока). И, наконец, с момента появления дуговых разрядов и перехода их в непрерывно горящую дугу, сопротивление промежутка электрод-расплав начинает уменьшаться с ростом плотности тока.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- в расплаве карбида кальция характер изменения напряжения дуги от погружения электрода носит экстремальный характер, а сила тока - нелинейно возрастающий;
- $U-I$  характеристика системы графитовый электрод-расплав карбида кальция (с погружением в расплав электрода) имеет 3 отражающие наличие в системе режима «сопротивление», «переходной», «дуга»;
- неидеальные динамическое и дифференциальное сопротивления системы электрод-расплав карбида кальция наблюдается в конце переходного (от сопротивления к дуговому) режима.

#### Литература

- 1 Струнский Б.М. Руднотермические плавильные печи.- М.: Металлургия. 1972.- 368 с.
- 2 Платонов Г.Ф. Параметры и электрические режимы металлургических электродных печей.-М.-Л.: Энергия, 1965. -151с.
- 3 Ершов В.А., Данцис Я.Б., Реутович Л.Н. Производство карбида кальция.- Л.: Химия, 1974. – 152с.
- 4 Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга.-М.:Машиностроение, 1970. – 335 с.

5 Сисоян А.Г. Электрическая дуга в электрической печи.-М.: Metallurgiya, 1974. – 304 с.

6 Сергеев П.В. Энергетические закономерности руднотермических печей электролиза и электрической дуги. -Алма-Ата: Изд. АН Каз. ССР, 1963.-251с.

### **Қорытынды**

Мақалада, графитті электроды мен кальций карбиді балқыманың арасында доғаның пайда болуы заңдылықтары зерттелініп жарияланған.

### **Summary**

In the article we are published the regularity of formation of arc discharge between plumbagous electrode and molten calcium carbon.