

О РОЛИ ПРИЭЛЕКТРОДНЫХ ПАДЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Топала А.П. (Р.Молдова, Бэлцкий Государственный Университет)

The article deals with the problem of electrical erosion of various materials. It has been theoretically analyzed and experimentally proven that current density is one of the basic parameters influencing the process of erosion. A greater erosion of the anode compared to the cathode is explained by a fall of tension/voltage in the anode.

Несмотря на довольно глубоко изученных процессов электрической эрозии разными авторами, до сих пор не существует однозначного мнения на этот счет. Разные авторы рассматривают эти процессы по-разному и, соответственно, их описывают.

До сих пор считалось, что источник тепла, который нагревает и плавит поверхность электродов образуется непосредственно на них. Эта гипотеза не совсем верна, поскольку все образующиеся кратеры при импульсных электрических разрядах имеют форму сегмента сферы и не могут образоваться за счет воздействия плоского источника тепла. На сегодняшний день, все чаще исследователи допускают, что источники тепла являются точечными и расположены на поверхностях электродов. Если эта картина верна, то все кратеры должны представлять ровно половину сферы, но это в большинстве случаев не так.

В данной работе предлагается, чтобы для случая больших межэлектродных промежутков (МЭП) считать в качестве точечных тепловых источников тепла электродные пятна (анодные и катодные) расположенные на определенном расстоянии от обрабатываемой поверхности и центры которых являются одновременно и центрами сегментов сферических кратеров полученных при электрической эрозии, обусловленной импульсными электрическими разрядами.

Исходя из результатов, полученных различными авторами при изучении электрических разрядов [1, 2, 3, 4, 5] и эрозии поверхностей электродов при импульсных разрядах на промежутках больше пробивных полученных автором [8, 9], можно считать, что эрозионные процессы вызваны воздействием электродных пятен второго типа, т.е. «горячими» электродными пятнами, которые зарождаются при слиянии двух и более пятен первого типа-«холодных» электродных пятен. Для более простого понимания процессов, происходящих в межэлектродном промежутке при импульсных электрических разрядах допустим, что плотность тока в одном электродном пятне первого типа является постоянной и квантифицированной, а в пятне второго типа она множественна (n) плотностям тока в пятнах первого типа.

Из-за пинч-эффекта в процессе единичного импульсного электрического разряда происходит слияние двух и более существующих каналов, в которых протекают параллельные токи замыкающихся с электродами посредством электродных пятен. Если допустить что плотность тока в существующих каналах постоянна и одновременно токи протекают в двух параллельных каналах которые сливаются, тогда вновь возникающий

канал будет иметь диаметр отличный от первых двух, который может быть рассчитан исходя из вышеизложенных условий:

$$j_1 = \frac{4I_1}{\pi d_1^2} \text{ и } j_2 = \frac{4I_2}{\pi d_2^2} \quad (1)$$

В формуле (1) I_1 и I_2 являются соответственно токами в каналах проводимости, d_1 и d_2 – диаметры этих каналов, а j_1 и j_2 – плотность токов в них. Если допустить, что эти два канала идентичны и через них проходят одинаковые токи, тогда первое уравнение может быть записано:

$$j_1 = j_2 = const \quad (2)$$

Вновь образовавшийся канал проводимости будет иметь диаметр отличающийся от первых и в нем будет протекать электрический ток с плотностью $j_3 > j_1$ и j_2

Из условия образования расплава на поверхности обработки по данным [] можно определить диаметр канала разряда, допуская что он совпадает с диаметром кратера (эрозионного следа) из условия:

$$d_c = \sqrt{4W / \pi S Q_{nl}} \quad (3)$$

в которой: $W = \int_0^{\tau} U(t)i(t)dt$, S -величина межэлектродного промежутка, Q -теплота плавления материала электрода ($Q = q \cdot \rho$, q -удельная теплота плавления, ρ – плотность материала электрода), τ - длительность разряда.

В ряде работ [1, 8, 10] доказано, что падение напряжения на межэлектродном промежутке зависит от его значения и материала электродов и является величиной постоянной в конкретных условиях и может быть определено выражением:

$$U = \alpha + \beta S \quad (4)$$

В которой α - суммарное падение напряжения на электродах, β - коэффициент пропорциональности, S – величина МЭП. Необходимо отметить, что значение α колеблется в пределах 19... 22В для различных пар электродов а коэффициент пропорциональности β для воздушной среды равен 14,235 В/мм [9].

Если возвести в квадрат выражение (3) и вывести за знак интеграла напряжение, получим:

$$d_0^2 = \frac{4U}{\pi S Q_{nl}} \cdot \int_0^{\tau} i(t)dt \quad (5)$$

обозначив через $\Delta = \frac{U}{S Q_{nl}}$ получим :

$$d_c^2 = 4\Delta \int_0^{\tau} i(t)dt \quad (6)$$

или

$$\frac{1}{\Delta} = \frac{4 \int_0^{\tau} i(t)dt}{\pi d_c^2} \quad (7)$$

поскольку $\int_0^{\tau} i(t)dt = I_3$ - является суммарным током за весь период разряда, то из выражения (7) можно рассчитать значение плотности тока j_3 необходимое для образования жидкой фазы на обработанной поверхности:

$$j_3 = \frac{4 \int_0^{\tau} i(t)dt}{\pi d_c^2}$$

или

$$j_3 = \frac{SQ_{nl}}{U}$$
(8)

Исходя из выражения (8) можно рассчитать критическую плотность тока, необходимую для появления жидкой фазы на обработанных поверхностях электродов выполненных их различных материалов. Расчетные значения для различных материалов и в зависимости от способа включения электрода в цепь разряда приведены в таблице.

Таблица 1. Зависимость диаметров кратеров, падений напряжения на МЭП и плотностей токов для разных материалов от величины промежутка

Материал электрода	Диаметр кратера электроде на аноде	Диаметр кратера на электроде катоде	S (mm)	U _s (V) [9]	j ₃ , A/мм ² на аноде	j ₃ , A/ мм ² на катоде
Сталь-30	2,85	1,55	0,1	20,8	129,6	438,4
	2,35	1,40	0,5	25,75	161,2	454,3
	1,70	1,10	1,0	36,0	239,9	573,3
Cu	1,65	1,15	0,1	21,8	369	753
	1,38	1,05	0,5	27,75	432	1218
	1,12	0,78	1,0	37,07	516	1237
Ti	2,55	2,15	0,1	21,05()	160,4	225
	1,85	1,72	0,5	26,82()	238,0	671
	1,03	0,85	1,0	36,78()	561,5	1344

Данные, приведенные в таблице, указывают на то, что для одного и того же промежутка, падения напряжения на нем практически мало изменяется с изменением материала электродов, в то время как критическая плотность тока, необходимая для появления жидкой фазы на обработанной поверхности существенно зависит от теплофизических свойств последних. Если исходить из падений напряжения на МЭП то в принципе невозможно заметить существенную разницу в оплавлении разных материалов, но учитывая согласно выражению (4), что она имеет две компоненты падение напряжения на электродах (катоде и аноде) и на столбе разряда вторая из которых зависит только от величины промежутка становится понятным, что определяющую роль в электроэрозионных процессах отводится падению напряжений на электродах. Исходя из данных работы [1, 7] электродные пятна имеют малую толщину и таким образом в при электродных зонах создаются сильные электрические поля в которых носители тока сильно ускоряются приобретают большую энергию и передают ее электродам при столкновении с ними, таким образом при электродных падениях напряжений играют важную роль в развитии эрозионных процессов.

Экспериментальные результаты разных авторов [1, 8, 9, 10], указывают на то, что для одинаковых условий, эрозия электрода-анода в случае обработки металлических материалов, практически всегда больше эрозии электрода-катода. Если представить МЭП в виде трех последовательно соединенных сопротивлений, то, соответственно, падение напряжения будет делиться на три составляющие U_a, U_{cm} и U_k . Величины лунок, образовавшихся на поверхностях анода и катода, выполненных из того же материала – разные и всегда больше на аноде. Следует что, несмотря на то, что в цепи разряда течет один и тот же ток, плотность его на аноде (j_A) и катоде (j_K) будет разным из-за разности диаметров лунок и логически, было бы допустить что оно больше на катоде, значит, в этом случае преобладающая эрозия анода может быть обусловлена только большим значением падения напряжения на аноде.

Исходя из условий (3, 4, 7) и учитывая значение глубины лунки можно вычислить ее объем и соответственно массу эродированного материала, а исходя из этого оценить величины падений напряжения на аноде и катоде. Исходя из данных работы [1] глубина лунки может быть определена выражением :

$$h_c = kW_u \quad (9)$$

в которой $k = 0,5$ для сталей а W_u -является энергией разряда. Последнее выражение указывает на то что глубина лунки прямо пропорционально энергии разряда но надо учитывать что она перераспределяется между электродами и каналом проводимости наверно этим и объясняется необходимость более больших токов при увеличении промежутка. Из полученных результатов и проведенного анализа можно сделать вывод о том, что, на промежутках больше пробивных приэлектродные падения напряжения на аноде примерно в 3...3,5 раза больше катодных, а плотность тока в 2...2,5 меньше чем и объясняется его более сильная эрозия.

Список литературы: 1.Мицкевич М.К., Бушик А.И., Бакуто И.А., Шилов В.А., Девойно И.Г. Электроэрозионная обработка металлов, Минск, Наука и техника, 1988, с. 216.2.Галинов И.В., Лубан Р.Б., Пеккер Л.С. О физических процессах в межэлектродном промежутке при электроискровом легировании металлов Кишинев, Электронная обработка материалов, 1990. 3.Guile A.E., Juttner B. Basic erosion processes of oxidized and clean metal cathodes by electrical ares // IIE Trans. On Plasma Science. 1980 PS-8. N 3. P 259-269.4.Hurley R.E. Electrical phenomena occurring at the surface of electrically stressed cathodes // J. Phys. D.:Appl.Phys.1980. 13. P.1121 -1126.5.Guile A.E., Hitchcock A.H. Oxide films on arc cathodes and their emission and erosion// J. Phys. D.:Appl.Phys.1975. 8. P.663 -669.6.Любимов Г.А, Раховский В.И., Катодное пятно вакуумной дуги //Успехи физических наук.1978, вып. 4, с.665...706.7.Keil A., Merl W. A., Vinaricky E. Elektrische kontakte und ihre werkstoffe. Berlin.1984.8.Топала П.А., Душенко В.Ф., Гитлевич А.Е., Об условиях образования расплава на поверхности детали-катода при электроискровом легировании на установках типа “Разряд”, Кишинев, Электронная обработка материалов, 1990, №6, стр. 17...18.9.Topala Pavel, Bălcănuță Nicolae, Caracteristicile electrodinamice ale descărcărilor electrice în impuls, Chișinău, TEHNOLOGII MODERNE,CALITATE RESTRUCTURARE, MAI 2001, PG.203...208.10.Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р., Физические основы электроэрозионной обработки, Москва, Машиностроение, 1977.