

В. Л. КАСЬЯН, К. Р. ТАТАЛЯН

О ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ  
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ

При электроэрозионной обработке алмазных кругов на их рабочей поверхности под действием тепловых потоков электрических разрядов последовательно образуется множество мелких лунок, в результате чего происходит послойное удаление связки и обнажение алмазных зерен. В условиях аддитивности процесса интегральная величина эрозии может быть выражена через суммы объемов, удаляемых под действием единичных разрядов [1]  $V = \sum_{i=1}^N V_i$ . Площадь обработанной поверхности при этом определится отношением  $S = V/h_{\text{ср}}$ , где  $h_{\text{ср}}$  — средняя глубина лунки. При обычной электроэрозионной обработке размеры лунок с достаточной точностью определяются параметрами электрических разрядов (энергией  $W_{11}$  и длительностью  $\tau_{11}$ ). В условиях электроэрозионной обработки алмазных кругов, осуществляемой при межэлектродных промежутках в несколько десятков микрометров, размеры лунок зависят также от случайных факторов, имеющих статистическую природу и вероятностные закономерности [2, 3].

В данной работе закономерности электроэрозионной обработки алмазных кругов рассмотрены с вероятностных позиций с учетом случайного распределения электрических разрядов по всей поверхности круга. При решении поставленной задачи приняты следующие допущения

1. Электрический разряд моделируется действием плоского круглого источника тепла радиусом  $r$ , плотность которого принимается постоянной во времени и равномерной по радиусу. Объем единичной лунки приравнивается объему цилиндра, образующая которого равна глубине лунки  $\Delta$ .
2. При прохождении разряда через данную площадь поверхности удаляется металл с лунки глубиной  $h_1$ , при прохождении повторного разряда в том же месте — глубиной  $h_2 < h_1$ , а при  $i$ -ом разряде —  $h_i < h_{i-1}$ . При этом, начиная с  $k+1$ -ого разряда, глубина лунки уменьшается настолько, что ею можно пренебречь [4].
3. Так как расстояние между электродом-инструментом и поверхностью круга гораздо больше суммарной толщины удаляемой связки за  $N$  разрядов  $h_1 + h_2 + \dots + h_N$  [4], электрический разряд на всех участках поверхности равновероятен.

Рабочую поверхность круга представим областью  $\Omega$ , а  $\Omega(NT)$  — ту часть поверхности, которая после  $N$  разрядов, т. е. в момент времени  $t = NT$  ( $T$  — период следования разрядов) будет находиться на

глубине  $h_1 + h_2 + h_3 + \dots + \Delta_i$  от условной нулевой поверхности связи  $\Omega_0$  (рис.);  $S_i(N_i)$  — площадь поверхности  $\Omega_i(N_i)$ , а  $S = 2\pi Rb$  ( $R$  — радиус круга,  $b$  — ширина круга) площадь поверхности  $\Omega$ . Среднее количество металла, удаляемого с поверхности  $i$ -ого слоя при одном разряде:  $V_{i, \text{ср}} = \pi r^2 h_i \frac{S_i}{S}$ , следовательно, среднее уменьшение площади поверхности  $i$ -ого слоя —  $\Delta S_{i, \text{ср}} = \pi r^2 \frac{S_i}{S}$ .

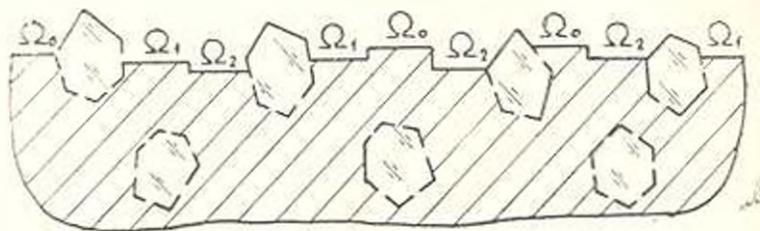


Рис.

Для доказательства введем две индикаторные функции  $I(x)$  и  $J(x, y)$ ,  $[x \in \Omega, y \in \Omega]$

$$I(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in \Omega_1, \\ 0, & \text{если } x \in \Omega_0, \end{cases}$$

$$J(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{при } |x - y| > r, \\ 0 & \text{при } |x - y| \leq r, \text{ если } y \in \Omega_0, \\ 1 & \text{при } |x - y| \leq r, \text{ если } y \in \Omega_1. \end{cases}$$

$V_i(x)$  — объем удаляемого металла с поверхности  $i$ -ого слоя, если центр круга находится в точке  $x$ . Так как  $b \gg r$ , влияющие границы области  $\Omega$  можно не учитывать. Тогда

$$V_i(x) = \iint \int I(x, y) dy h_i.$$

Найдем математическое ожидание  $V_{i, \text{ср}}$  величины  $V_i(x)$ , при условии, что случайная величина  $x$  равномерно распределена на поверхности  $\Omega$ .

Плотность этого распределения  $(\iint \int 1 dx)^{-1} = S^{-1}$  и поэтому

$$V_{i, \text{ср}} = \iint \int V_i(x) \frac{1}{S} dx = \frac{h_i}{S} \iint \int \left[ \iint \int I(x, y) dy \right] dx =$$

$$= \frac{h_i}{S} \iint \int \left[ \iint_x J(x, y) dx \right] dy,$$

где  $\iint_x J(x, y) dx = \pi r^2 I(y)$ .

Это следует из того, что при  $y \in |\Omega$ , интеграл равен нулю. Если же  $y \in \Omega_r$ , то при  $|x - y| > r$  и  $|x - y| < r$   $J(x, y) = 0$  и  $J(x, y) = 1$ , а  $\int_{|x-y|<r} 1 dy = \pi r^2$ . Продолжив цепочку равенств, получим

$$V_{i, \text{об}} = \frac{h_i}{S} \int \int \int \int J(x, y) dx \Big| dy = \frac{h_i}{S} \int \int \pi r^2 I(y) dy = \frac{\pi r^2}{S} h_i S_i,$$

$$\text{т. к. } \int \int I(y) dy = S_i.$$

Основываясь на этом положении, запишем рекуррентные соотношения для поверхностей различных слоев связки, если их исходными поверхностями являются  $S_0(0) = p_0 S, \dots, S_{k-1}(0) = p_{k-1} S$ , где  $p_0, \dots, p_{k-1}$  — соответствующие коэффициенты, учитывающие наличие алмазных зерен в связке:

$$S_0((N+1)T) = S_0(NT) - \frac{\pi r^2 S_0(NT)}{S}; \quad (1)$$

$$S_i((N+1)T) = S_i(NT) - \frac{\pi r^2 S_i(NT)}{S} + \frac{\pi r^2 S_{i-1}(NT)}{S},$$

где  $\frac{\pi r^2 S_i(NT)}{S}$  — среднее уменьшение площади поверхности  $i$ -ого слоя после  $(N+1)$ -го разряда из-за удаления части поверхности этого слоя;  $\frac{\pi r^2 S_{i-1}(NT)}{S}$  — среднее приращение площади поверхности  $i$ -ого слоя за счет удаления части поверхности  $i-1$ -ого слоя  $(N+1)$ -ым разрядом.

Представим рекуррентные соотношения (1) в виде

$$\frac{S_0(t+T) - S_0(t)}{T} = -\frac{\pi r^2}{ST} S_0(t), \quad (2)$$

$$\frac{S_i(t+T) - S_i(t)}{T} = -\frac{\pi r^2}{ST} S_i(t) + \frac{\pi r^2}{ST} S_{i-1}(t), \quad i = 1, \dots, k-1.$$

Вследствие малости  $T$  выражения (2) можно записать дифференциальными уравнениями

$$S_0'(t) = -\frac{\pi r^2}{ST} S_0(t), \quad S_i'(t) = -\frac{\pi r^2}{ST} S_i(t) + \frac{\pi r^2}{ST} S_{i-1}(t). \quad (3)$$

Решая уравнение (3), получаем величину площади поверхности нулевого слоя, оставшейся по истечении времени  $t$  от начала обработки

$$S_0(t) = p_0 S e^{-\frac{\pi r^2}{ST} t}. \quad (4)$$

Решением уравнения (3) является

$$S_i(t) = \left[ p_i + \left( \frac{\pi r^2}{ST} \right) p_{i-1} \frac{t}{1!} + \dots + \left( \frac{\pi r^2}{ST} \right) p_{i-1} \frac{t^j}{j!} + \dots \right. \\ \left. \dots + \left( \frac{\pi r^2}{ST} \right)^i p_0 \frac{t^i}{i!} \right] S_0 e^{-\frac{\pi r^2}{ST} t} \quad (5)$$

При начальных условиях ( $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_{i-1} = 0$ ), соответствующих исходной поверхности круга, решение уравнений (3) примет вид

$$S_i(t) = p_0 S \left( \frac{\pi r^2}{ST} \right)^i \frac{t^i}{i!} e^{-\frac{\pi r^2}{ST} t} \quad (6)$$

С учетом того, что после  $k$ -ого разряда в одном и том же месте удаление связки практически не происходит, площадь поверхности  $k$ -ого слоя можно представить

$$S_k(t) = p_0 S - S_0(t) - S_1(t) - \dots - S_{k-1}(t). \quad (7)$$

Порядок  $k$  определяется из выражения  $h = h_1 + h_2 + \dots + h_k$ , где  $h$  — суммарная величина линейного съема связки, определяемая из условия обеспечения оптимальной величины вскрытия зерен [5].

Таблица  
Расчетные и экспериментальные длины  $l$  и  $S_k/S$   
при различных межэлектродных промежутках  $\delta$ ,  
 $h = 10$  мм

Источник	$\delta$ , мм	$l$ , с	$S_k/S$
[1]	20	50	1
	40	90	
	60	150	
(4), (6), (7)	20	90	0,85
	40	175	
	60	320	
Эксперимент	20	90	0,82
	40	175	0,8
	60	320	0,75

Выражения (4), (6), и (7) позволяют вычислить время, необходимое для вскрытия поверхности  $k$ -го слоя или определить величину площади поверхности  $k$ -го слоя, вскрытой за время  $t$ , и тем самым оценить состояние поверхности алмазного слоя и проследить за динамикой развития рабочей поверхности. Для проверки полученных зависимостей расчетные данные интегральной величины эрозии сравнивались с экспериментальными данными электроэрозионной обработки алмазного круга АПП 250×15 марки алмаза АС 15 зернисто-

сти 125/100 на связке М 1 50%-ной концентрации электрическими импульсами, используемыми при правке кругов ( $W_{\text{эл}}=0,04 \text{ Дж}$ ,  $\tau_{\text{эл}}=10 \text{ мкс}$ , частотой 10 кГц, межэлектродный промежуток 20, 40, 60 мкм). Относительная величина площади обработанной поверхности  $k$ -го слоя определялась статистическим методом путем измерения величины линейного съема связки на 48 участках поверхности круга, расположенных в два ряда равномерно по образующей. Для определения величины линейного съема связки был использован метод, описанный в [5]. Сравнительные данные приведены в таблице. При расчетах по (4), (6) и (7) брали  $S_1 S_2=0,85$ , время обработки круга в экспериментах было равно расчетному.

Анализ полученных результатов показывает, что на интегральную величину эрозии при электроэрозионной обработке алмазных кругов значительное влияние оказывает случайное распределение электрических разрядов на рабочей поверхности круга. Оно возрастает с увеличением межэлектродного промежутка.

Վ. Լ. ԿՈՍՅԱՆ, Վ. Ի. ԹԱԹԱՆՅԱՆ

ԱՐԱՍՏԵ ԶՂԱԲԱՐԵՐԻ ԷԼԷԿՏՐՈՆՈՎՈՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԶԻՎԱՆԱԿԱՆ ՕՐԻՆԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ս փ ս ւ Վ

Ուսումնասիրված են պատահական գործոնների ազդեցությունը ամաստեղ կաթարների էլեկտրաէրոզիոն մաքրման օրինաչափությունների վրա: Դուրս են բերված արատհայտություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս որոշել հզկաթարի բանվորական մակերևույթի մաքրման տևողությունը: Առաջված արդյունքները վկայում են, որ հզկաթարի էլեկտրաէրոզիոն մաքրման ուժգնությունը կախված է բանվորական մակերևույթի վրա էլեկտրական պարպումների պատահական բախումից և միջէլեկտրոդային հեռավորության մեծացման հետ այդ կախվածությունը աճում է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Золотых Б. Н. Физические основы электроискровой обработки металлов—М: Гостехтеориздат, 1953.—108 с.
2. Некрашевич Н. Г., Мицкенич М. К., Бакуго И. А. О характере закономерностей в явлении электрической эрозии//Сб. науч. тр. физ.тех. ин-та АИ ВССР.—Минск, 1955.—Вып. 2.—С. 179—180.
3. Яницкий Ю. В. Расчет интегральной величины эрозии при электроискровой обработке материалов—1969.—№ 4—С. 5—10.
4. Касьян М. В., Касьян В. Л. Исследование возможности электроэрозионной обработки алмазных кругов в воздушной среде // Электрошпательная обработка материалов.—1981.—№ 5—С. 10—13.
5. Мартиросян Р. Б., Касьян В. Л. Алмазное шлифование труднообрабатываемых материалов при электроэрозионном воздействии на рабочую поверхность круга // Сб. «Прогрессивные методы финишной обработки изделий сложной формы».—Павлово, 1979.—С. 68—70.