

тали с закреплением непосредственно в контейнере или манипуляторе в зоне максимальной производительности.

Л и т е р а т у р а

1. Д е м и д о в и ч Б.П. и др. Численные методы анализа. М., Гос. изд. физ.-мат. лит., 1962.
2. Ф и л ь ч а к о в П.Ф. Численные и графические методы прикладной математики. Киев, "Наукова думка", 1970.

В.Н. Трусов, Ф.П. Урывский

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ РАСТРАВЛИВАНИЯ ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

При электроалмазном шлифовании (ЭАШ) съем материала осуществляется в результате механического удаления припуска, электрохимического (анодного) растворения обрабатываемого материала и электроэрозионного съема.

Соотношение составляющих рассматриваемого процесса в общей производительности будет зависеть от технологических режимов обработки.

Для напряжения, которое подается на электроды в процессе ЭАШ, эрозионный процесс практически отсутствует [1], [2], [3].

В этом случае задача будет сводиться к определению толщины слоя, снимаемого только за счет электрохимического растворения за один оборот детали.

При электрохимической обработке наблюдаются нестационарный как электрический, так и гидродинамический режимы. Поэтому точное аналитическое определение толщины стравливаемого слоя является весьма сложной задачей. Для ее решения сделаем ряд допущений [1], [2], [3]. Будем считать, что напряжения на электродах, суммарная ЭДС поляризации электродов, выход по току и удельная электропроводность электролита в зазоре остаются постоянными от начала и до конца обработки, т.е., изменение тока в рассматриваемой элементарной ячейке обратно пропорционально изменению величины межэлектродного зазора.

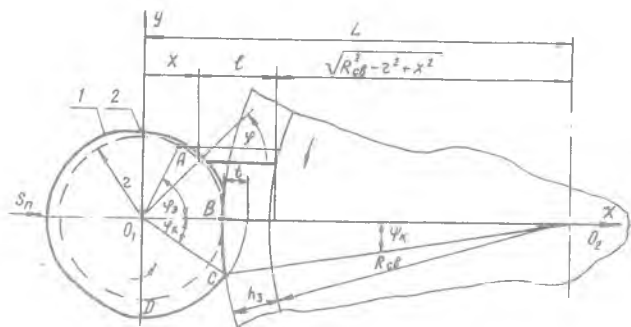
Считаем также, что анодная поверхность является эквипотенциальной, поэтому элементарный съем происходит по нормали к поверхности анода. С учетом сделанных допущений можно записать выражение для скорости электрохимического растворения в любой точке анодной поверхности [3]

$$\frac{dz}{d\tau} = \eta C_V \frac{dJ}{dS}$$

где $\frac{dz}{d\tau}$ - скорость электрохимического растворения материала анода; η - выход по току; C_V - электрохимический эквивалент материала анода; $\frac{dJ}{dS}$ - плотность тока.

Из этого уравнения следует, что скорость электрохимического растворения прямо пропорциональна плотности тока.

Зону обработки при ЭАШ можно разделить на два участка [1], [2].
Схема деления представлена на рис.1.



Р и с.1. Определение величины электрохимического съема:

- 1 - действительный профиль обрабатываемого изделия;
- 2 - аппроксимация профиля на участке АВ

На участке АВ происходит чисто электрохимический съем материала, а на участке ВС возможно сочетание электрохимического растворения и алмазного шлифования.

Уменьшение радиуса обрабатываемого изделия за счет стравливания поверхностного слоя при прохождении его через зону обработки будет состоять из суммы стравленных слоев на участках АВ и ВС

$$\Delta Z = \Delta Z_{AB} + \Delta Z_{BC}$$

где ΔZ - толщина стравленного слоя; ΔZ_{AB} - толщина слоя, стравленного на участке АВ; ΔZ_{BC} - толщина слоя, стравленного на участке ВС.

Но для скоростей электрохимического растворения на каждом из участков можно записать следующие зависимости:

$$\frac{dz_{AB}}{d\tau} = \rho C_V \frac{dJ_{AB}}{dS_{AB}}$$

$$\frac{dz_{BC}}{d\tau} = \rho C_V \frac{dJ_{BC}}{dS_{BC}}, \quad (I)$$

где $\frac{dz_{AB}}{d\tau}$, $\frac{dz_{BC}}{d\tau}$ - скорости электрохимического растворения на участке АВ и ВС; $\frac{dJ_{AB}}{dS_{AB}}$, $\frac{dJ_{BC}}{dS_{BC}}$ - плотность тока на участке АВ и ВС.

В целях упрощения, участки АВ и СД изделия аппроксимируем дугами окружностей с радиусами z и $z+t$. Погрешность такой аппроксимации не превышает 0,08% при диаметре изделия не более 55 мм и поперечной подаче не более 1 мм/мин. В данном случае t - поперечная подача в см/об.

Выражение (I) с учетом сделанных допущений, можно записать в виде

$$\frac{dz_{AB}}{d\tau} = \rho C_V \frac{d(UG_{AB})}{d(Bz\varphi)} = \frac{\rho C_V U}{Bz} \frac{dG_{AB}}{d\varphi}, \quad (2)$$

где U - напряжение, подводимое к электродам, с учетом его падения в прикатодной и прианодной областях; G_{AB} - проводимость электролита; b - высота круга; φ - угол, соответствующий рассматриваемому сечению межэлектродного зазора.

Для элементарного слоя электролита на участке АВ проводимость будет выражаться зависимостью

$$dG_{AB} = \frac{Bz}{\rho} \frac{\cos\varphi d\varphi}{l},$$

где $l = L - x - \sqrt{(R-h_3)^2 - z^2 - x^2}$ определяется из геометрических соотношений (см. рис.1).

Тогда

$$\frac{dG_{AB}}{d\varphi} = \frac{Bz}{\rho} \frac{\cos\varphi}{l}. \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), заменив X на $z \cos\varphi$ и произведя сокращения, получаем

$$\frac{dz_{AB}}{d\tau} = \rho C_V \frac{U}{\rho} \frac{\cos\varphi}{L - z \cos\varphi - \sqrt{R_{c\theta}^2 - z^2 + z^2 \cos^2\varphi}} =$$

$$= \rho C_V \frac{U}{\rho} \frac{\cos\varphi}{z \left(\frac{L}{z} - \cos\varphi - \sqrt{\frac{R_{c\theta}^2}{z^2} - \sin^2\varphi} \right)}$$

Так как

$$\tau = \frac{\varphi}{\omega}, \quad d\tau = \frac{1}{\omega} d\varphi,$$

где ω - угловая скорость вращения изделия, то можно записать

$$\frac{dz_{AB}}{d\varphi} = \rho C_V \frac{U}{\omega z \rho} \frac{\cos \varphi}{\frac{L}{z} - \cos \varphi - \sqrt{\frac{R_{CB}^2}{z^2} - \sin^2 \varphi}}$$

Разделяя переменные в последнем выражении и интегрируя его, можно получить величину радиального сжима материала за счет электрохимического растворения на участке AB

$$\int_{z_0}^{z_{\varphi_3}} dz_{AB} = \rho C_V \frac{U}{\omega z \rho} \int_0^{\varphi_3} \frac{\cos \varphi d\varphi}{\frac{L}{z} - \cos \varphi - \sqrt{\frac{R_{CB}^2}{z^2} - \sin^2 \varphi}}$$

Если учесть, что $z_{\varphi_3} - z_0 = \Delta z_{AB}$, то

$$\Delta z_{AB} = \rho C_V \frac{U}{\omega z \rho} \int_0^{\varphi_3} \frac{\cos \varphi d\varphi}{\frac{L}{z} - \cos \varphi - \sqrt{\frac{R_{CB}^2}{z^2} - \sin^2 \varphi}}$$

Обозначив

$$F = \int_0^{\varphi_3} \frac{\cos \varphi d\varphi}{\frac{L}{z} - \cos \varphi - \sqrt{\frac{R_{CB}^2}{z^2} - \sin^2 \varphi}},$$

$$\frac{L}{z} = A, \quad \left(\frac{R_{CB}}{z}\right)^2 = D$$

и сделав подстановку

$$\sin \varphi = k, \quad dk = \cos \varphi d\varphi$$

будем иметь

$$F = \int_{k_0}^{k_{\varphi_3}} \frac{dk}{A - \sqrt{1-k^2} - \sqrt{D-k^2}}$$

Знаменатель подынтегральной функции разложим на множители, т.е. найдем корни уравнения

$$A - \sqrt{1-k^2} - \sqrt{D-k^2} = 0.$$

После двукратного возведения в квадрат и приведения подобных членов, получим

$$(A^2 - D + 1)^2 = 4A(1 - k^2).$$

Имея в виду, что $k = \sin \varphi$, а для $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ $\sin \varphi \geq 0$, следовательно, $k^2 \geq 0$. Тогда можно записать

$$k^2 = \left| 1 - \frac{(A^2 - D + 1)^2}{4A^2} \right|.$$

Отсюда

$$k_{1,2} = \pm \frac{1}{2A} \sqrt{|4A^2 - (A^2 - D + 1)^2|}$$

Обозначив,

$$C = \frac{1}{2A} \sqrt{|4A^2 - (A^2 - D + 1)^2|}$$

будем иметь интеграл

$$F = \int_{k_0}^{k_{\varphi_3}} \frac{dk}{(k-C)(k+C)} = \int_{k_0}^{k_{\varphi_3}} \frac{dk}{(k-C)^2}$$

Этот интеграл является табличным. Пределы интегрирования после подстановки будут следующими [4]:

$$K_0 = 0; \quad K_{\psi} = \sin \psi_3.$$

Тогда

$$\dot{F} = \int_0^{\sin \psi_3} \frac{dk}{(k-c)^2} = -\frac{1}{2c} \ln \left| \frac{c+k}{c-k} \right|_0^{\sin \psi_3} = -\frac{1}{2c} \ln \left| \frac{c+\sin \psi_3}{c-\sin \psi_3} \right|.$$

Следовательно, изменение радиуса изделия за счет травли поверхностного слоя на участке АВ будет определяться выражением

$$\Delta z_{AB} = -\rho C_v \frac{U}{\omega z \rho} \frac{1}{2c} \ln \left| \frac{c+\sin \psi_3}{c-\sin \psi_3} \right|,$$

где

$$c = \frac{1}{2Lz} \sqrt{\left| 4L^2 z^2 - (L^2 - R_{cb}^2 + z^2)^2 \right|}.$$

Рассмотрим изменение радиуса изделия за счет его электрохимического растворения на участке ВС

$$\frac{dz_{bc}}{d\tau} = \rho C_v \frac{d(U G_{bc})}{d(R \psi B)} = \rho C_v \frac{U}{RB} \frac{dG_{bc}}{d\psi},$$

где $R = R_{cb} + h_3$ - номинальный радиус круга; R_{cb} - радиус связки круга; h_3 - величина межэлектродного зазора на участке ВС.

Для участка ВС

$$dG_{bc} = \frac{BR}{\rho h_3} d\psi$$

Следовательно

$$\frac{dG_{bc}}{d\psi} = \frac{BR}{\rho h_3}$$

Тогда для скорости электрохимического съема на участке ВС можно записать следующее выражение:

$$\frac{dz_{bc}}{d\tau} = \rho C_v \frac{U}{RB} \frac{BR}{\rho h_3} = \rho C_v \frac{U}{\rho h_3}. \quad (4)$$

Если принять во внимание соотношения

$$d\tau = \frac{1}{\omega} d\psi, \quad \omega_1 = \omega \frac{z+t}{R},$$

где ω_1 - угловая скорость вращения точек, лежащих на линии ВС, относительно центра O_2 , то уравнение (4) можно переписать

в виде

$$\frac{dz_{bc}}{d\psi} = \frac{1}{\omega} \rho C_v \frac{RU}{(z+t)\rho h_3}. \quad (5)$$

Разделяя переменные в (5) и интегрируя от ψ_k до 0, получим значение толщины травливаемого слоя с поверхности детали на участке ВС:

$$\Delta z_{вс} = \eta C_{в} \frac{R}{\omega \rho h_3 (z+t)} \int_{\psi_k}^0 d\psi = -\eta C_{в} \frac{U}{\omega \rho h_3} \frac{R}{z+t} \psi_k$$

Для вычисления ψ_k воспользуемся формулой плоского треугольника

$$(z+t)^2 = L^2 + R^2 - 2LR \cos \psi_k ;$$

$$\cos \psi_k = \frac{L^2 + R^2 - (z+t)^2}{2LR}$$

$$\psi_k = \arccos \frac{L^2 + R^2 - (z+t)^2}{2LR}$$

Следовательно

$$\Delta z_{вс} = -\eta C_{в} \frac{U}{\omega \rho h_3} \frac{R}{z+t} \arccos \frac{L^2 + R^2 - (z+t)^2}{2LR}$$

Таким образом, уменьшение радиуса обрабатываемого изделия за счет электрохимического растворения будет выражаться следующей зависимостью:

$$\Delta z = \Delta z_{ав} + \Delta z_{вс} = \eta C_{в} \frac{U}{\omega \rho} \left[\frac{1}{2zc} \ln \left| \frac{c + \sin \psi_3}{c - \sin \psi_3} \right| + \frac{R}{h_3 (z+t)} \arccos \frac{L^2 + R^2 - (z+t)^2}{2LR} \right]$$

Анализ полученной формулы позволяет сделать вывод о том, что глубина электрохимического растворения за один оборот изделия при известных геометрических размерах круга и обрабатываемой детали будет пропорциональна электрохимическому эквиваленту материала анода, напряжению, подводимому в зону обработки и обратно пропорциональна скорости вращения и удельному сопротивлению электролита.

Л и т е р а т у р а

1. Григоров Ю.И., Чернышев Н.А. Влияние параметров обработки на долю электрохимического съема при электроабразивном круглом наружном шлифовании. В сб. : Технология машиностроения. Волгоград, ВПИ, 1971.
2. Корчагин Г.Н., Беляков С.М., Петров В.А. Некоторые вопросы теории процесса круглого электроабразивного

- шлифования. В об.: Теория и практика размерной электрохимической обработки материалов. Уфа, УАИ, 1971.
3. Головачев В.А., Петров Б.И., Филимошин В.Г., Шманев В.А. Электрохимическая размерная обработка деталей сложной формы. М., "Машиностроение", 1969.
 4. Смирнов В.И. Курс высшей математики, т.1. М., "Наука", 1974.

С.А. Власова

СИЛЫ РЕЗАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РЕЗЬБОШЛИФОВАНИИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

Кафедрой "Резание материалов" Тольяттинского политехнического института проведена исследовательская работа по изучению процесса шлифования резб метчиков, роликов и калибров на Волжском автомобильном заводе.

Эксперименты проводились на резьбошлифовальном станке модели 5821, оснащенном динамометрическим центром для измерения усилий резания и установкой для измерения температур в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемым изделием. Образцами для исследования являлись заготовки из быстрорежущих сталей Р6М5, Р18Ф, Р18К5Ф диаметром 5 и 20 мм, закаленных до HRC 62 - 64.

В процессе работы проводились сравнительные исследования работоспособности (ранее применяемых на ВАЗе для операций резьбошлифования) кругов из электрокорунда и зеленого карбида кремния с кругами из эльбора.

Результаты испытаний кругов по технологическим параметрам показали преимущества кругов из эльбора: производительность процесса увеличилась вдвое, стойкость круга в 40-50 раз, шероховатость поверхности повысилась на один класс.

Однако повысить технологические показатели электрокорундовых кругов возможно, увеличив их твердость, но до определенного предела, ограничиваемого появлением прижогов.

Так как резьбошлифование является последней операцией, которая формирует поверхностный слой детали, определяющий ее работоспособность, то подбор кругов и режимов шлифования нельзя вести только по технологическим параметрам без учета сил резания, температур в зоне