

ПРИНЦИПЫ НАПРАВЛЕННОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Анатолий И. Грабченко, Владимир Л. Доброскок, Ярослав Н. Гарашенко

Национальный технический университет (НТУ), "Харьковский политехнический институт" (ХПИ), Харьков, Украина, E-mail: grabchenko@kpi.kharkov.ua

Article info:

Paper received: 30 March 2009

Paper accepted: 10 May 2009

Correspondent Author's Address:

Анатолий И. Грабченко

"Харьковский политехнический институт" (ХПИ)

вул. Фрунзе 21, 61002 Харьков, Украина

Phone: +380-57-7064143

E-mail: grabchenko@kpi.kharkov.ua

Резюме: Рассмотрены принципы и основные закономерности направленного формообразования рабочей поверхности шлифовальных кругов на токопроводных связках электрохимическим методом. Разработаны математические модели электрохимического формообразования рельефа рабочей поверхности по ширине и длине круга. Определены основные управляемые и управляющие параметры направленного процесса формообразования. Представлены способы управления параметрами поперечного и продольного профиля рельефа рабочей поверхности алмазных кругов в процессе шлифования.

Ключевые слова: шлифовальный круг, направленное формообразование, продольный профиль, поперечный профиль, электрохимический метод.

1. ВВЕДЕНИЕ

Стабильность процесса шлифования и эффективность использования потенциальных режущих свойств алмазных зерен зависят от изменения комплекса параметров рельефа поверхности круга (поперечный и продольный профиль, режущий рельеф), что приводит к необходимости их целенаправленного комплексного формообразования в процессе работы.

Рассмотрим основные методы направленного формообразования рабочей поверхности шлифовальных кругов на токопроводных связках разработанные на кафедре "Интегрированные технологии машиностроения" им. М.Ф. Семко НТУ "Харьковский политехнический институт" [1-2, 5-13]. Приведенные расчетные зависимости являются базовыми для рабочих процессов шлифования с направленным электрохимическим формообразованием рабочей поверхности шлифовальных кругов в процессе работы.

Базовым принципом направленного формообразования поперечного и продольного профиля является регулирование интенсивности воздействия на локальные участки связки по ширине и длине рабочей поверхности круга.

2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СВЯЗКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Обобщенная зависимость линейной скорости электрохимического воздействия на связку круга определяется выражением [3]:

$$v = \frac{\varepsilon \cdot \eta \cdot \chi \cdot L \cdot U}{\pi \cdot D_{кр} \cdot \delta}, \quad (1)$$

где ε - электрохимический эквивалент; η - коэффициент выхода по току; χ - удельная электропроводность электролита; L - длина рабочей части катода; U - напряжение на электродах; $D_{кр}$ - диаметр круга; δ -

межэлектродный зазор.

Определение электрохимического эквивалента применительно к алмазосодержащему слою кругов необходимо производить с учетом наполнителя и концентрации алмазных зерен. Взаимосвязь электрохимических эквивалентов алмазосодержащего слоя и связки имеет вид:

$$\varepsilon = \varepsilon_c \left(1 - \frac{k}{400} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где ε_c - объемный электрохимический эквивалент с учетом наполнителя;

k - концентрация алмазных зерен в круге, %.

Учет влияния наполнителя в связке (т.к. наполнитель не подвергается электрохимическому растворению) можно произвести, используя соотношение:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_v \left[1 + \frac{\rho_c}{\rho_m} \left(\frac{100}{\sum g_i} - 1 \right) \right], \quad (3)$$

где ε_v - объемный электрохимический эквивалент металлической связки; ρ_c, ρ_m - средняя плотность связки и наполнителя; $\sum g_i$ - содержание металлических компонентов в связке (по массе), %.

Объемный электрохимический эквивалент связки определяется по уравнению [4]:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_m / \rho_c, \quad (4)$$

где ε_m, ρ_c - средние массовый электрохимический эквивалент и плотность связки.

Общие массовый электрохимический эквивалент и плотность связки определяются зависимостями:

$$\varepsilon_m = \sum g_i \left(\sum \frac{g_i}{\varepsilon_{mi}} \right)^{-1}, \quad (5)$$

$$\rho_c = \left(\sum g_i \right)^{-1} \sum \rho_i g_i, \quad (6)$$

где g_i - процентное содержание i -го компонента по массе; ε_{mi}, ρ_i - соответственно, электрохимический эквивалент и плотность i -го компонента.

Расчет физико-электрохимических характеристик производится по уравнениям (1) - (6) с учетом данных [4, 16]. Определение электрохимического эквивалента ε производится расчетным путем для заданного состава связки и концентрации алмазов в круге. Для решения практических задач формообразования необходимо иметь данные по влиянию условий обработки на коэффициент выхода по току η и удельную электропроводность электролита χ .

2.1. Формообразование поперечного профиля рельефа рабочей поверхности

Основным принципом направленного формообразования поперечного профиля является разделение катода по ширине и длине на электрически изолированные области с

обеспечением возможности регулирования времени прохождения тока через каждую из них. Зависимость усредненной плотности тока в произвольном сечении x по ширине рабочей поверхности круга имеет следующий вид:

$$\bar{i}_{\kappa(x)} = \frac{\chi U}{L} \sum_{j=1}^N \frac{\tau_j l_j}{\bar{\delta}_j T_j}, \quad (7)$$

где χ - удельная электропроводность электролита; L - длина рабочей части катода; l_j - длина электрически изолированных областей j на рабочей поверхности катода ($0 < l_j \leq L$); τ_j, T_j - соответственно продолжительность и период подачи напряжения на электрически изолированные области катода; U - напряжение на электродах; $\bar{\delta}_j$ - усредненное значение межэлектродного зазора по длине электрически изолированной области в сечении x ; N - число электрически изолированных областей на рабочей поверхности катода.

На рис. 1 представлена схема расположения электрически изолированных областей произвольной формы для общего случая, когда межэлектродный зазор $\delta_{(xz)}$ изменяется по ширине ($0 \leq x \leq B$) и длине ($0 \leq z \leq L$) рабочей поверхности катода. Форма электрически изолированных областей определяется нижней $a_{(xj)} = f_{(x)}$ и верхней $b_{(xj)} = f_{(x)}$ их границами. Для рассматриваемого случая длина рабочей части катода соответствует суммарной длине всех электрически изолированных областей, попадающих в сечение x :

$$L = \sum_{j=1}^N l_j = \sum_{j=1}^N (b_{(xj)} - a_{(xj)}), \quad (8)$$

где $a_{(xj)}, b_{(xj)}$ - соответственно уравнения нижней и верхней границ электрически изолированных областей.

Усредненное значение межэлектродного зазора по длине j -й электрически изолированной области в сечении x определяется уравнением:

$$\bar{\delta}_j = \frac{1}{b_{(xj)} - a_{(xj)}} \int_{a_{(xj)}}^{b_{(xj)}} \delta_{(x,z)} dz, \quad (9)$$

где $\delta_{(xz)}$ - величина межэлектродного зазора по ширине x и длине z рабочей поверхности катода (рис. 1).

С учетом уравнений (7) - (9) зависимость усредненной плотности тока на длине рабочей поверхности катода в произвольном сечении x имеет вид:

$$\bar{i}_{\kappa(x)} = \frac{\chi U}{L} \sum_{j=1}^N \frac{\tau_j (b_{(xj)} - a_{(xj)})^2}{T_j \int_{a_{(xj)}}^{b_{(xj)}} \delta_{(x,z)} dz}, \quad (10)$$

где обозначение величин, входящих в формулу, приведено выше.

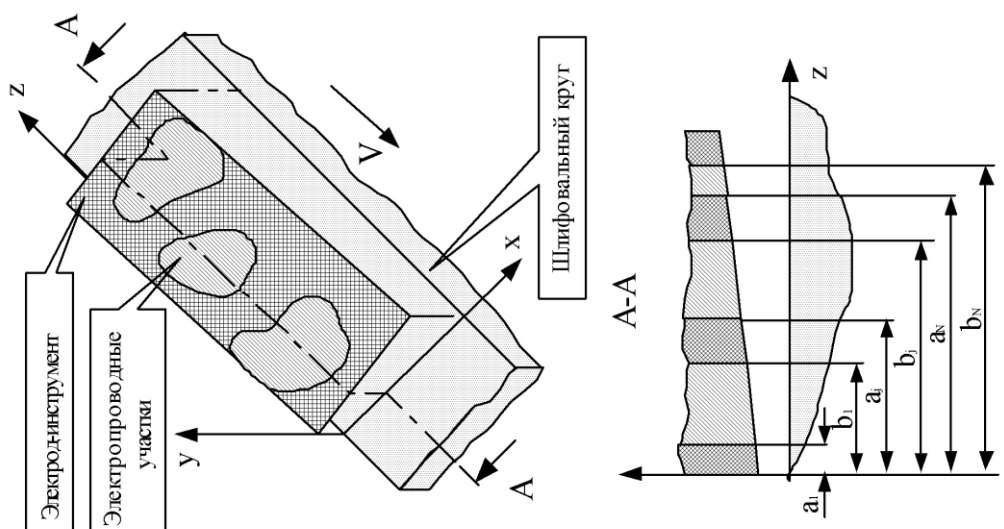
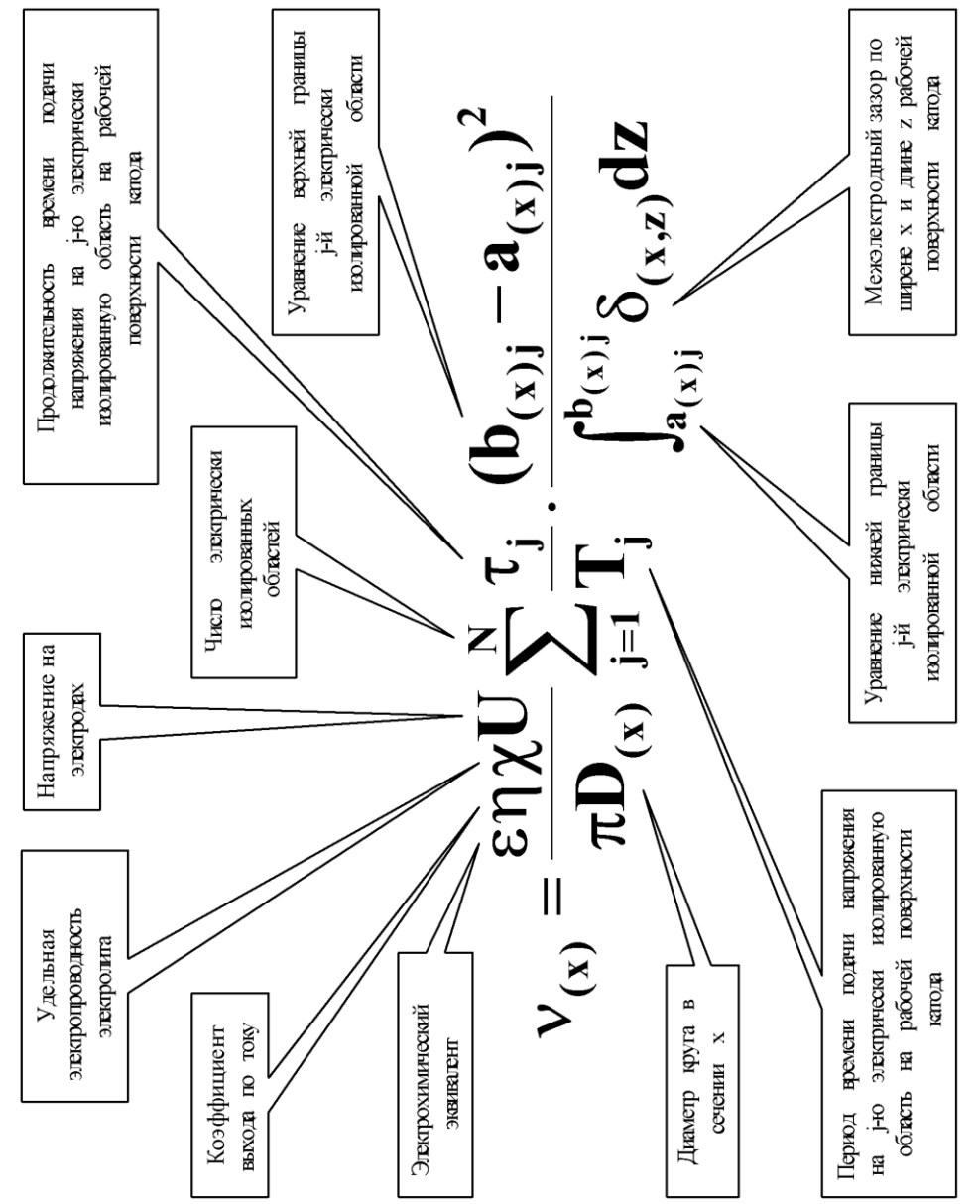


Рисунок 1: Схема направленного формообразования поперечного профиля рельефа рабочей поверхности кругов

Условная плотность тока по ширине рабочей поверхности круга:

$$i_{y(x)} = \frac{\chi U}{\pi D_{(x)}} \sum_{j=1}^N \frac{\tau_j (b_{(x)j} - a_{(x)j})^2}{T_j \cdot \int_{a_{(x)j}}^{b_{(x)j}} \delta_{(x,z)} dz}, \quad (11)$$

где $D_{(x)}$ - диаметр круга, соответствующий координате x по ширине его рабочей поверхности; обозначения остальных величин приведены выше.

С учетом зависимости линейной скорости электрохимического растворения от условной плотности тока ($v = \varepsilon \cdot \eta \cdot i_y$), получим уравнение, определяющее закон управления поперечным профилем рельефа рабочей поверхности алмазных кругов:

$$v_{(x)} = \frac{\varepsilon \eta \chi U}{\pi D_{(x)}} \sum_{j=1}^N \frac{\tau_j (b_{(x)j} - a_{(x)j})^2}{T_j \cdot \int_{a_{(x)j}}^{b_{(x)j}} \delta_{(x,z)} dz}, \quad (12)$$

где ε - электрохимический эквивалент; η - коэффициент выхода по току; χ - удельная электропроводность электролита; U - напряжение на электродах; $D_{(x)}$ - диаметр круга в сечении x ; τ_j , T_j - соответственно продолжительность и период времени подачи напряжения на j -ю электрически изолированную область на рабочей поверхности катода; $a_{(x)j}$, $b_{(x)j}$ - соответственно уравнения нижней и верхней границ j -й электрически изолированной области; $\delta_{(x,z)}$ - межэлектродный зазор по ширине x и длине z рабочей поверхности катода; N - число электрически изолированных областей.

Уравнение (12) позволяет по заданным границам электрически изолированных областей на поверхности катода определять линейную интенсивность электрохимического воздействия на рабочую поверхность круга в зависимости от физических параметров процесса (напряжение на электродах U , удельная электропроводность электролита χ , межэлектродный зазор δ).

Определение технологического параметра - тока управления I_y - производится интегрированием уравнения (10) (I_y будет соответствовать среднему току за время $\tau \geq T_{j(max)}$, проходящему через все электрически изолированные области на рабочей поверхности катода)

Определение зависимости между током управления и линейной интенсивностью электрохимического воздействия по ширине рабочей поверхности круга можно произвести только для известной формы, размеров и количества электрически изолированных областей. Параметры рабочей поверхности катода определяются применительно к конкретному рабочему процессу шлифования.

2.2. Формообразование продольного профиля рельефа рабочей поверхности

Основным принципом направленного формообразования продольного профиля является подача электрических импульсов, период которых синхронизирован с вращением шлифовального круга.

Примем, что каждый электропроводный участок на рабочей поверхности катода воздействует на все Z_κ лунки, соответствующие числу волн формируемой волнистости продольного профиля, а генератор импульсов подает их с частотой f_u . В таком случае линейная скорость растворения связки по длине рабочей поверхности круга определяется зависимостью:

$$v_{(z)} = h_{n(l)} \cdot \frac{Z_\kappa}{Z_\sigma} \cdot f_u, \quad (13)$$

где $h_{n(l)}$ - глубина лунки на поверхности связки от единичного импульса; Z_κ - количество электропроводных участков на рабочей поверхности катода; Z_σ - количество формируемых впадин на рабочей поверхности круга; f_u - частота подаваемых электрических импульсов.

Уравнение для глубины лунки от единичного импульса в общем виде:

$$h_{n(l)} = \frac{\varepsilon \eta \chi}{\delta} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U d\tau, \quad (14)$$

где τ_a , τ_b - соответственно время начала и окончания процесса электрохимического растворения.

Время начала и окончания процесса электрохимического растворения связки круга в произвольной точке с координатой z по длине рабочей поверхности определяется необходимостью одновременного выполнения двух условий: нахождение участка связки с координатой z под электродом (рис. 2); наличие импульса напряжения U на электродах. В общем случае время начала и окончания процесса электрохимического растворения будет зависеть от геометрических, кинематических и электрических параметров процесса: координаты профиля лунки z по длине рабочей поверхности круга, длины электропроводного участка на рабочей поверхности катода Δ ; скорости вращения круга $v_{кр}$; продолжительности импульса τ_u .

Интенсивность электрохимического формообразования продольного профиля алмазных кругов определится уравнением:

$$v_{(z)} = \frac{Z_\kappa}{Z_\sigma} \cdot f_u \cdot \frac{\varepsilon \eta \chi}{\delta} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U d\tau, \quad (15)$$

где Z_κ - количество электропроводных участков на рабочей поверхности катода; Z_σ - количество формируемых впадин на рабочей поверхности круга; f_u - частота импульсов; ε -

электрохимический эквивалент; η - коэффициент выхода по току; χ - удельная электропроводность электролита; δ - межэлектродный зазор; τ_a, τ_b - соответственно время начала и окончания процесса электрохимического растворения; U - напряжение на электродах; τ - время электрохимического растворения связки в координатах времени импульса напряжения.

Модель процесса электрохимического формообразования продольного профиля включает в себя физические параметры, которые можно определять лишь косвенными методами. К этим параметрам относятся удельная электропроводность электролита χ и межэлектродный зазор δ [15], при определении которых в процессе шлифования необходимо использовать величину тока в цепи управления. Таким образом, возникает необходимость в замене физических параметров процесса χ и δ на технологические, включающие ток управления I_y - действующее значение тока в цепи управления параметрами рельефа рабочей поверхности.

Величина тока управления определяется выражением:

$$I_y = \frac{\chi \tau_u U_{cp} F_k}{\delta T}, \quad (16)$$

где χ - удельная электропроводность электролита; τ_u - продолжительность импульсов; U_{cp} - среднее напряжение за время импульса; F_k - площадь электропроводных участков на рабочей поверхности катода; δ - межэлектродный зазор; T - период подаваемых импульсов.

Связь между физическими и технологическими параметрами процесса электрохимического формообразования имеет вид:

$$\frac{\chi}{\delta} = I_y \frac{T}{\tau_u U_{cp} F_k}. \quad (17)$$

Основное уравнение электрохимического формообразования продольного профиля рельефа рабочей поверхности алмазных кругов (15) в технологической форме определяется выражением:

$$v_{(z)} = I_y \frac{Z_k}{Z_g} \frac{\varepsilon \eta}{F_k \tau_u U_{cp}} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U d\tau, \quad (18)$$

где $v_{(z)}$ - интенсивность электрохимического формообразования продольного профиля; I_y - ток управления; Z_k - количество электропроводных участков на рабочей поверхности катода; ε - электрохимический эквивалент; η - коэффициент выхода по току; Z_g - количество формируемых впадин на рабочей поверхности круга; F_k - площадь электропроводных участков на рабочей поверхности катода; U_{cp} - среднее напряжение

за время импульса; τ_a, τ_b - соответственно время начала и окончания процесса электрохимического растворения; U - напряжение на электродах $U = f(t)$; τ - время электрохимического растворения связки в координатах времени импульса напряжения.

Процесс управления предполагает выявление управляемых и управляющих параметров. Управляющими параметрами при формообразовании продольного профиля являются характеристики подаваемых электрических импульсов и конструктивные элементы рабочей поверхности катода. Параметры управления продольным профилем рельефа рабочей поверхности алмазных кругов представлены на рис. 3, где стрелками обозначена взаимосвязь управляемых и управляющих параметров.

Шаг волнистости продольного профиля или количество выступов на рабочей поверхности круга. Этими параметрами необходимо управлять путем изменения шага между электропроводными участками на рабочей поверхности катода t_{kj} и периодом T или частотой импульсов f_u . Взаимосвязь между шагом волнистости продольного профиля t_g и количеством выступов на рабочей поверхности

круга Z_g определяется зависимостью $t_g = \frac{\pi \cdot D_{kp}}{Z_g}$,

где D_{kp} - диаметр круга. Зависимость требуемой частоты импульсов f_u (при постоянстве шага между электропроводными участками) от формируемого шага волнистости продольного профиля t_g имеет вид:

$$f_u = \frac{v_{kp}}{t_u}, \quad (19)$$

где v_{kp} - скорость шлифовального круга.

Отношение длины выступов к длине впадин. Отношение длины выступа l_{en} к длине впадины l_g определяется уравнением:

$$\frac{l_{en}}{l_g} = \frac{t_g}{\Delta + v_{kp} \cdot \tau_u} - 1, \quad (20)$$

где t_g - шаг волнистости продольного профиля; Δ - длина электропроводных участков на поверхности катода; v_{kp} - скорость круга; τ_u - продолжительность импульсов.

Тогда продолжительность подаваемых импульсов в зависимости от требуемого отношения длины выступов к длине впадин определится соотношением:

$$\tau_u = \frac{1}{v_{kp}} \left[\frac{t_g}{1 + \frac{l_{en}}{l_g}} - \Delta \right]. \quad (21)$$

ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ СВЯЗКИ ПО ДЛИНЕ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

$$V(z) = f_{и} \cdot \frac{Z_{к}}{Z_{в}} \cdot h_{л(1)}$$

МЕЖЭЛЕКТРОДНЫЙ ЗАЗОР

КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАТОДА

КОЛИЧЕСТВО ФОРМИРУЕМЫХ ВПАДИН НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА

ГЛУБИНА ЕДИНИЧНОЙ ЛУНКИ

$$h_{л(1)} = \frac{\epsilon \eta \chi}{\delta} \int_0^{\tau_b} \int_0^{\tau_a} u dt$$

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ

КОЭФФИЦИЕНТ ВЫХОДА ПО ТОКУ

УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА

МЕЖЭЛЕКТРОДНЫЙ ЗАЗОР

ВРЕМЯ НАЧАЛА И ОКОНЧАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ

НАПРЯЖЕНИЕ НА ЭЛЕКТРОДАХ

ОБЛАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ (О) ФУНКЦИИ $h_{л(1)} = f(z)$ И ПРЕДЕЛЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ (ПИ) ГЛУБИНЫ ВПАДИНЫ ОТ ЕДИНИЧНОГО ИМПУЛЬСА

СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ВПАДИНЫ	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА	
	$\tau_{и} \leq \Delta / v_{кр}$	$\tau_{и} > \Delta / v_{кр}$
ПЕРЕДНЯЯ БОКОВАЯ СТОРОНА		
	ПИ	ПИ
	$\tau_{и} = \tau_{и}; \tau_{а} = 0$	$\tau_{а} = 0$
ДНО ВПАДИНЫ	$v_{кр} \tau_{и} \leq z \leq \Delta$	$\Delta \leq z \leq v_{кр} \tau$
	$\tau_{б} = \tau_{и}; \tau_{а} = 0$	$\tau_{б} = z / v_{кр}; \tau_{а} = (z - \Delta) / v_{кр}$
ЗАДНЯЯ БОКОВАЯ СТОРОНА	$\Delta \leq z \leq \Delta + v_{кр} \tau$	$v_{кр} \tau_{и} \leq z \leq \Delta + v_{кр} \tau_{и}$
	$\tau_{б} = \tau_{и}$	$\tau = (z - \Delta) / v_{кр}$

z - координата профиля впадины по длине рабочей поверхности круга;

$\tau_{и}$ - продолжительность импульсов;

Δ - длина электропроводного участка;

$v_{кр}$ - скорость круга.

Рисунок 2: Математическая модель процесса формообразования продольного профиля рельефа рабочей поверхности

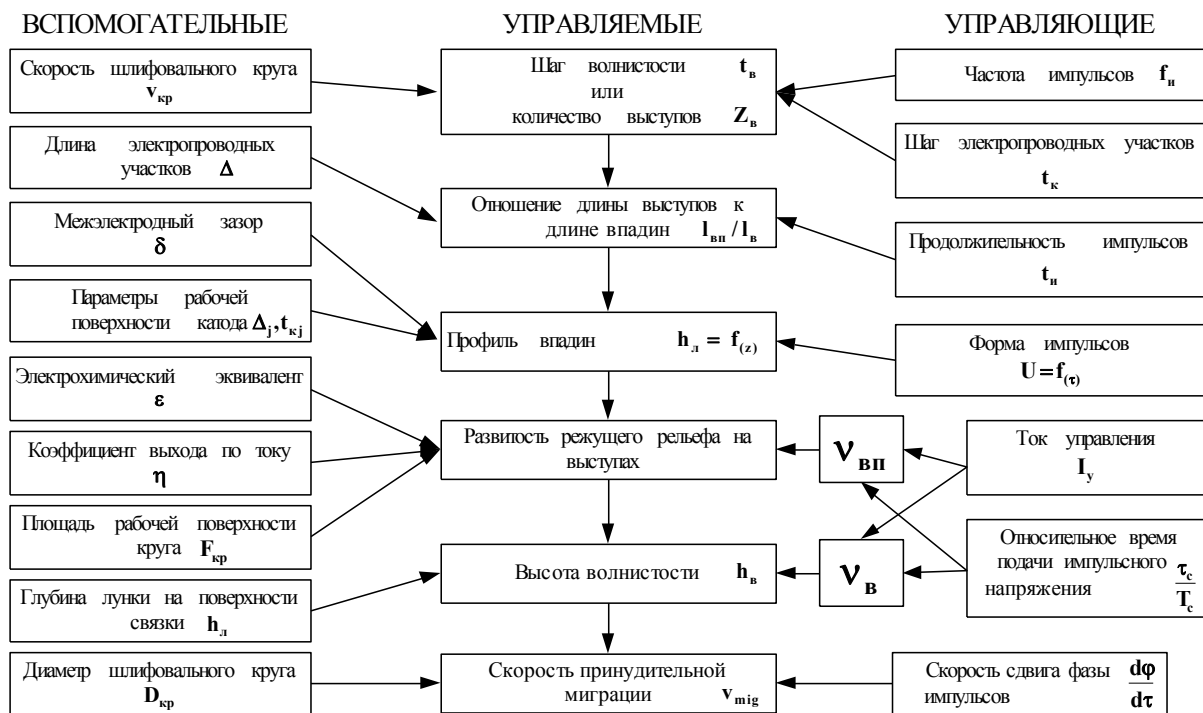


Рисунок 3: Параметры управления продольным профилем рельефа рабочей поверхности кругов

Выбор требуемого отношения длины выступов к длине впадин должен производиться в процессе решения технологических задач оптимизации процесса шлифования применительно к конкретным условиям обработки.

Высота волнистости продольного профиля. Управление высотой волнистости продольного профиля в процессе шлифования предполагает обеспечение заданной высоты волнистости и требуемой развитости режущего рельефа на выступах. Вопрос управления высотой волнистости продольного профиля в случае электрохимического воздействия на связку круга сводится к управлению интенсивностью воздействия по выступам и впадинам на рабочей поверхности круга. При таком способе управления интенсивность электрохимического воздействия на выступы определяется зависимостью:

$$v_e = \varepsilon \eta \chi U \cdot \frac{Z_k}{Z_e} \left\{ \frac{\tau_c}{T_c} \left[\frac{k_u f_u}{\delta_0 + h_l} - \frac{\Delta}{(\delta_0 + h_l) t_e} \right] + \frac{\Delta}{(\delta_0 + h_l) t_e} \right\}, \quad (23)$$

где $k_u = \tau_u$, если $\tau_u \leq \frac{\Delta}{v_{кр}}$ или $k_u = \frac{\Delta}{v_{кр}}$, если

$$\tau_u \geq \frac{\Delta}{v_{кр}}; h_l - \text{глубина впадин на поверхности}$$

связки;

f_u - частота импульсов; $v_{кр}$ - скорость круга; остальные обозначения соответствуют (22).

При решении технологических задач отношение требуемой интенсивности электрохимического воздействия на выступы и впадины должно определяться экспериментально применительно к

$$v_{en} = \left(1 - \frac{\tau_c}{T_c} \right) \frac{\varepsilon \eta \chi}{\delta_0} \cdot U \cdot \frac{\Delta Z_k}{t_e Z_e}, \quad (22)$$

где τ_c, T_c - соответственно продолжительность и период подачи импульсного напряжения; ε - электрохимический эквивалент; η - коэффициент выхода по току; δ_0 - межэлектродный зазор между выступами и поверхностью катода; U - напряжение на электродах; Δ - длина электропроводных участков на поверхности катода; Z_k - количество электропроводных участков; t_e - шаг волнистости продольного профиля; Z_e - число выступов на рабочей поверхности круга.

Интенсивность электрохимического воздействия на дно впадины (с учетом глубины впадин на поверхности связки h_l) для прямоугольных импульсов определяется уравнением:

конкретным условиям шлифования, т. к. его оптимальное значение зависит от физических процессов в зоне шлифования (различная интенсивность износа и засаливания выступов и впадин). Ток управления, являясь вторым параметром регулирования высоты волнистости продольного профиля, должен определяться с учётом необходимой интенсивности электрохимического воздействия на выступы шлифовального круга. Ток управления I_y в зависимости от необходимой интенсивности электрохимического воздействия на выступы

шлифовального круга определяется зависимостью:

$$I_y = v_{en} \frac{F_{кр}}{\varepsilon \eta} k_c, \quad (24)$$

где v_{en} - требуемая интенсивность электрохимического воздействия на выступы круга; $F_{кр}$ - площадь рабочей поверхности круга; ε - электрохимический эквивалент; η - коэффициент выхода по току; k_c - безразмерный коэффициент, зависящий от параметров процесса управления продольным профилем.

При управлении продольным профилем в процессе решения технологических задач оптимизации процесса шлифования требуемый ток управления I_y должен определяться экспериментально, применительно к конкретным условиям обработки.

Параметрами, управляющими высотой волнистости и развитостью режущего рельефа на вершинах выступов, является относительное время подачи импульсного напряжения $\frac{\tau_c}{T_c}$ и ток управления I_y .

Миграция продольного профиля по длине рабочей поверхности круга. В общем случае требуемая скорость принудительной миграции продольного профиля определится выражением:

$$v_{mig} = k_m \gamma \frac{t_e}{h_e}, \quad (25)$$

где k_m - коэффициент, учитывающий профиль и характер износа выступов; γ - линейная скорость износа рабочей поверхности круга по вершинам выступов; h_e, t_e - соответственно высота и шаг волнистости продольного профиля.

Для конкретных условий шлифования скорость принудительной миграции должна определяться экспериментально при оптимизации процесса, по минимуму удельного расхода. Коэффициент k_m показывает, на какую часть шага волнистости t_e необходимо осуществить миграцию продольного профиля при износе рабочей поверхности круга на величину h_e .

Управление миграцией продольного профиля производится путем изменения фазы импульсов напряжения, подаваемых на электроды. Управляющий параметр (скорость сдвига фазы импульсов $\frac{d\varphi}{d\tau}$) с управляемым параметром

(скоростью принудительной миграции продольного профиля v_{mig}) связан соотношением:

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{2 \cdot v_{mig}}{D_{кр}}, \quad (26)$$

где $D_{кр}$ - диаметр шлифовального круга.

При управлении продольным профилем требуемая величина скорости принудительной

миграции должна определяться экспериментально при оптимизации процесса шлифования.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулированные принципы и разработанные на их основе способы комплексного направленного формообразования позволяют поддерживать на заданном уровне или регулировать в процессе изменяющихся условий шлифования основные параметры рабочей поверхности круга: режущий рельеф, поперечный и продольный профиль.

Комплексное управление рельефом обеспечивается целенаправленным дозируемым электрохимическим воздействием на локальные участки поверхности круга вне зоны шлифования с интенсивностью, изменяющейся по заранее заданному закону, а избирательность воздействия на связку круга - разделением поверхности катода на области и регулированием режима подачи тока на каждую из них.

Разработанная математическая модель электрохимического воздействия позволяет решать задачу прогнозирования интенсивности формообразования, возникающую при комплексном управлении параметрами рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на металлической связке. Широкие технологические возможности управления поперечным и продольным профилем создают предпосылки для его применения при различных методах шлифования торцом и периферией алмазных кругов с учетом особенностей их работы, определяющих требования к закону воздействия на рабочую поверхность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грабченко А.И. Научные основы алмазного шлифования сверхтвердых поликристаллических материалов: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Харьк. гос. политехн. ун-т. - Харьков, 1995. - 59 с.
- [2] Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. - Харьков: Вища школа, 1985. - 184 с.
- [3] Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Пыжов И.Н. Схемы непрерывного управления рельефом кругов в процессе алмазного шлифования // *Резание и инструмент*: Сб. научн. трудов. - Харьков: Вища школа. - 1986. Вып. 35. - С. 57-63.
- [4] Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов / Щербак М.В., Толстая М.А.,

- Анисимов А.П., Постоногов В.Х. - М.: *Машиностроение*, 1981. - 263 с.
- [5] *Patent 8803505 Sweden*, МКИ В 23 Н 9/02. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhailov, D.E. Belyavsky, V.L. Rokhlin (Kharkov SU); Заявл. 03.10.88; Оpubл. 13.09.90. - 31 с.
- [6] *Patent 677894 Switzerland*, МКИ В 24 В 53/00; В 23 Н 5/08; В 24 D 3/34. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhailov, D.E. Belyavsky, V.L. Rokhlin (Kharkov SU); Заявл. 27.09.88; Оpubл. 15.07.91. - 20 с.
- [7] *Patent 37898 A Ukraine*, МПК В24В1/00 / А.І. Грабченко А.І., М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Ф. Лієрат (DE), Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Шліфувальний круг і спосіб формування і підтримки його подовжнього профілю - № 2000042461; Заяв. 28.04.2000; Оpubл. 15.05.2001, Бюл. № 4.
- [8] *Patent 37908 A Ukraine*, МПК В24D17/00 / А.І. Грабченко, М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Пристрій для електрохімічної правки шліфувальних кругів на електропровідній металевій зв'язці - № 2000052513 Заяв. 04.05.2000; Оpubл. 15.05.2001, Бюл. № 4.
- [9] *Patent 37932 A Ukraine*, МПК В24В53/00 / А.І. Грабченко, М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Ю.Л. Уварова, Я.М. Гаращенко; ХДПУ. Спосіб формування переривчастої робочої поверхні шліфувального круга - № 2000052558; Заяв. 04.05.2000; Оpubл. 15.05.2001, Бюл. № 4.
- [10] *Patent 37973 A Ukraine*, МПК В24В53/04 / А.І. Грабченко, М. Хорват (НУ), В.Л. Доброскок, Я.М. Гаращенко, Ю.Л. Уварова; ХДПУ. Пристрій для правки шліфувального круга з переривчастою робочою поверхнею на електропровідній зв'язці - № 2000052685; Заяв. 12.05.2000; Оpubл. 15.05.2001, Бюл. № 4.
- [11] *Patent DE 3835166 AI Germany* (Offenlegungsschrift), МКИ В 24 В 53/00; В 23 Н 7/22 // В 23 Н 3/04. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozin, A.I. Grabchenko, A.I. Michailov, D.E. Beljavskij, V.L. Rochlin (Charkov SU); Заявл. 15.10.88; Оpubл. 19.04.90. - 9 с.
- [12] *Patent P.V 8814192 France* (Memoire descriptif depose a l'appui d'une demande de brevet d'invention en France) / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhailov, D.E. Belyavsky, V.L. Rokhlin (Kharkov SU). Помещено 28.10.88. - 29 с.
- [13] Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении: Уч. пособие / Под. ред. А.И. Грабченко. - Харьков: ХГТУ, 1999. - 436 с.
- [14] Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. - Харьков: *Вища школа*, 1980. - 192 с.
- [15] Волков Ю.С., Лившиц А.Л. Введение в теорию размерного формообразования электрофизико-химическими методами. - К.: *Вища школа*, 1978. - 120 с.
- [16] Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Уч. пособие (в 2-х томах) Т.1. Обработка материалов с применением инструмента / Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. и др. / Под. ред. В.П. Смоленцева. - М.: *Высш. школа*, 1983. - 247 с.

PRINCIPI ZA REŠAVANJE FORMIRANJA RADNE POVRŠINE BRUŠENJE ELEKTROKEMIJSKIM METODAMA

Rezime: *Funkcioniranje principi i osnovni zakoni čiji je cilj oblikovanje radne površine brušenje tocila na vodljive snopove elektrokemijskih metoda. Matematički model elektrokemijskih oblikovanje reljefa radne površine širine i dužine kruga. Glavna kontrola parametara rukovanje i usmeren proces formacije. Predstavljen je način kontrole parametara poprečnog i uzdužnog profila reljefa radne površine dijamantskog sektora u procesu brušenja.*

Ključne reči: *tocilo za brušenje, različitost morfogeneze, uzdužni profil, poprečni profil, elektro-hemijska metoda.*

PRINCIPLES OF DIRECTED SHAPING OF WORKING SURFACE GRINDING WHEELS BY AN ELECTROCHEMICAL METHOD

Summary: Principles and the basic laws of directed shaping of the working surface of grinding wheels on conductive bonds are considered by the electrochemical method. Mathematical models of electrochemical shaping a relief of the working surface on width and length of the wheel are developed. Basic operated and controlled parameters of the directed process of shaping are determined. Control ways of parameters of a transverse and longitudinal profile of a relief of the working surface of diamond wheels during grinding are presented.

Key words: grinding wheel, directed shaping, longitudinal profile, transverse profile, electrochemical method.