

выбором схемы комбинированного процесса шлифования и профиля рабочей поверхности катода в сочетании с автоматической стабилизацией силы тока в цепи управления можно значительно повысить эффективность процесса алмазного шлифования в целом. В дальнейшем представляет определенный интерес решение задачи управления режущей способностью алмазных кругов, имеющих большую ширину рабочей поверхности.

#### Литература

1. Грабченко, А.И. *Расширение технологических возможностей алмазного шлифования* / А.И. Грабченко. – Харьков: Вища шк., 1985. – 184 с.
2. *Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник для студентів вищих навчальних закладів* / А.И. Грабченко, М.В. Везуб, Ю.М. Внуков та ін.; за ред. А.И. Грабченка. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 451 с.
3. Семко, М.Ф. *Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов* / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, М.Г. Ходоревский. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с.
4. Белявцев, Н.И. *Комбинированное шлифование безвольфрамовых твердых сплавов* / Н.И. Белявцев, М.Д. Узунян. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 169 с.
5. Грабченко, А.И. *Особенности управления режущим рельефом алмазных кругов при шлифовании пластичных материалов* / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, В.Л. Доброскок // *Резание и инструмент: респ. межвед. научн.- техн. сб.* – Харьков, 1986. – Вып.35. – с. 57–63.
6. *Обеспечение равновесного зазора при автономном управлении режущим рельефом алмазных кругов* / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, В.А. Федорович, В.А. Баргуз // *Прогрессивные технологические процессы, оборудование и инструмент: темат. сб. науч. тр.* – Харьков: ХАИ, 1987. – С. 59–64.
7. Де-Барр А. *Электрохимическая обработка* / Де-Барр А., Оливер Д.А.; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1973. – 184 с.
8. *Основы повышения точности электрохимического формообразования* / Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман и др.: под ред. И.И. Мороза. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 152 с.

Надійшла до редакції 18.01. 2010

© І.М. Пижов, М.Д. Жолткевич, Б.О. Коробко, А.В. Васильєв

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ АЛМАЗНИХ СТРУМОПРОВІДНИХ КРУГІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ СПОСОБОМ

*Розглянуто деякі питання, пов'язані з можливістю підвищення ефективності комбінованих процесів шліфування на базі комплексного підходу до явищ, які мають місце у зонах шліфування та керування різальним рельєфом алмазних кругів.*

**Ключові слова:** алмазні струмопровідні круги, зона шліфування, керування різальним рельєфом круга, сила струму в ланцюгу керування.

## PACKAGE APPROACH TO THE CONTROL FLOW OF THE ELECTRICALLY CONDUCTIVE DIAMOND WHEELS' ACTING FACE BY MEANS OF CHEMICAL-ELECTRIC METHOD

*The authors of the article dwell on some issues, which are related to the possibility of effectiveness increasing of the grinding combined processes on the basis of a comprehensive approach to the phenomena, occurring in the grinding area and management of cutting topography of diamond wheels.*

**The keywords:** electrically conductive diamond wheel, grinding area, management of cutting topography of diamond wheels, current intensity in the drive circuit.

І.М. Пижов, д.т.н., професор, С.І. Кравченко, к.т.н., доцент,  
С.Г. Ясько, ст. викладач, В.Г. Клименко, асистент

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ РІЗАЛЬНИХ КРОМОК ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНІЙ ОБРОБЦІ

*Розглянуто завдання зведення до мінімуму вживання чорного алмазного шліфування при обробці інструмента на основі полікристалічних надтвердих матеріалів шляхом використання електроерозійної обробки для зменшення сколів на їх різальних кромках.*

**Ключові слова:** полікристалічні надтверді матеріали, алмазне шліфування, електроерозійна обробка.

**Постановка проблеми.** При вдосконаленні машин особливу увагу приділяють процесам механічної обробки їх деталей. При цьому максимальний результат визначається не стільки продуктивністю знімання припуску матеріалу, скільки необхідністю формування в поверхневому шарі виробу такого стану, який найкращим чином забезпечує працездатність виробу. У розв'язанні цієї проблеми останніми роками істотну роль відіграють лезові інструменти з полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), які прийшли на зміну традиційним інструментальним матеріалам.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Особливою мірою це стосується сучасного машинобудування, яке характеризується зростаючими обсягами використання виробів із різноманітних важкооброблюваних матеріалів. Є дані, які свідчать про те, що в машинобудуванні й металообробленні провідних індустріальних країн для високошвидкісної обробки різанням частка інструментів із ПНТМ уже досягла 20 – 30 % від використання твердого сплаву [1]. Сьогодні ринок пропонує значну різноманітність інструментальних матеріалів на основі ПНТМ [2 – 4].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Практично всі виробники інструменту та виробів із ПНТМ (і особливо алмазу), а також користувачі, що стикаються з його переточуванням, наголошують на наявності гострої проблеми, пов'язаної з важкою оброблюваністю цих інструментальних матеріалів.

У наш час прийнята технологія заточування лезових інструментів із ПНТМ алмазними кругами на органічних зв'язках, що самозаточуються. Такі рекомендації даються в більшості літературних джерел, що належать до виробництва і переточування інструментів із ПНТМ [5, 6].

Але всі існуючі способи обробки ПНТМ засновані на підборі оптимальних значень, розмірів і характеристик алмазних кругів. Це приводить до збільшення їх номенклатури, залишаючи проблему оброблюваності ПНТМ у цілому не розв'язаною.

**Формулювання цілей статті.** З урахуванням того, що більшість ПНТМ на основі алмазу, які використовуються для виготовлення лезових інструментів, є провідниками електричного струму завдяки наявності в їх складі металевих включень (металевої фази), було запропоновано звести до мінімуму вживання чорного алмазного шліфування шляхом використання електроерозійної обробки (ЕЕО) для зменшення сколів на їх різальних кромках. важливість такого підходу набуває особливого значення у разі використання заготовок пнтм великих розмірів, а також за необхідності отримання складного профілю.

**Виклад основного матеріалу.** Основна відмінність механізму видалення припуску при обробці гетерогенних, якими є ПНТМ, від гомогенних матеріалів пов'язана з

наявністю алмазних зерен, що є діелектриками, між котрими, як правило, знаходиться певна кількість металевої зв'язки, наявність якої і робить його електропровідним.

Схема видалення ПНТМ непрофільованим електричним інструментом ЕІ (дротом) наведена на рисунку 1.

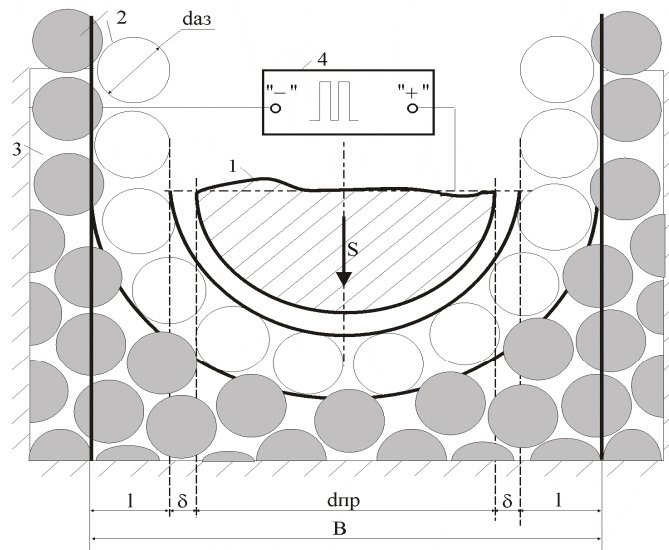


Рисунок 1– Схема видалення припуску з ПНТМ непрофільованим ЕІ:

1 – дротяний ЕІ;

2 – алмазні зерна;

3 – струмопровідна зв'язка;

4 – генератор уніполярних електричних імпульсів

Ширина зрізу при цьому визначається за виразом

$$B = d_{i\delta} + 2 \cdot \delta + 2 \cdot l, \quad (1)$$

де  $B$  – ширина паза, що прорізається;

$d_{i\delta}$  – діаметр електрода-дроту;

$\delta$  – величина міжелектродного проміжку;

$l$  – глибина лунок від електроерозійних розрядів.

Для аналізу оброблюваності ПНТМ електричною ерозією запропоновано використовувати такий показник, як електроерозійну стійкість матеріалу, оцінювану, наприклад, за критерієм Л.С. Палатника. Цей критерій ураховує одночасний вплив комплексу фізичних властивостей оброблюваного матеріалу на його здатність протистояти електроерозійному руйнуванню.

Згідно з формулою Л.С. Палатника електроерозійна стійкість оброблюваного матеріалу може бути визначена таким чином:

$$\hat{A}_{\tilde{n}\delta} = \tilde{N} \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \hat{O}^2 \cdot \hat{E}, \quad (2)$$

де  $\hat{A}_{\tilde{n}\delta}$  – електроерозійна стійкість;

$\tilde{N}$  – питома теплоємність,  $\hat{e}\tilde{A}\hat{\alpha} / \hat{e}\tilde{A} \cdot \hat{O} \cdot \tilde{N}$ ;

$\rho$  – густина,  $\hat{e}\tilde{A} / \hat{i}^3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\hat{A}\hat{\delta} / (\hat{i} \cdot K)$ ;

$\hat{O}_{i\hat{e}}$  – температура плавлення,  $\hat{O} \cdot \tilde{N}$ ;

$\hat{E}$  – постійний коефіцієнт,  $10^{-8} \cdot K \cdot \hat{i}^4 / (\hat{e}\tilde{A}\hat{\alpha} \cdot \hat{A}\hat{\delta})$ .

Результати розрахунків електроерозійної стійкості за формулою (2) свідчать про те (таблиця 1), що початкові зерна надтвердого матеріалу і матеріал зв'язки, який

входить до складу ПНТМ, мають істотну різницю в значеннях  $A_{\text{н\ddot{o}}}$ . Для алмазу перше значення електроерозійної стійкості набуто при використанні величини коефіцієнта теплопровідності за даними роботи [7], а друге – за даними, близькими до природного алмазу. Мікропорошки алмазу, що входять до складу полікристала, як відомо, близькі до монокристалів.

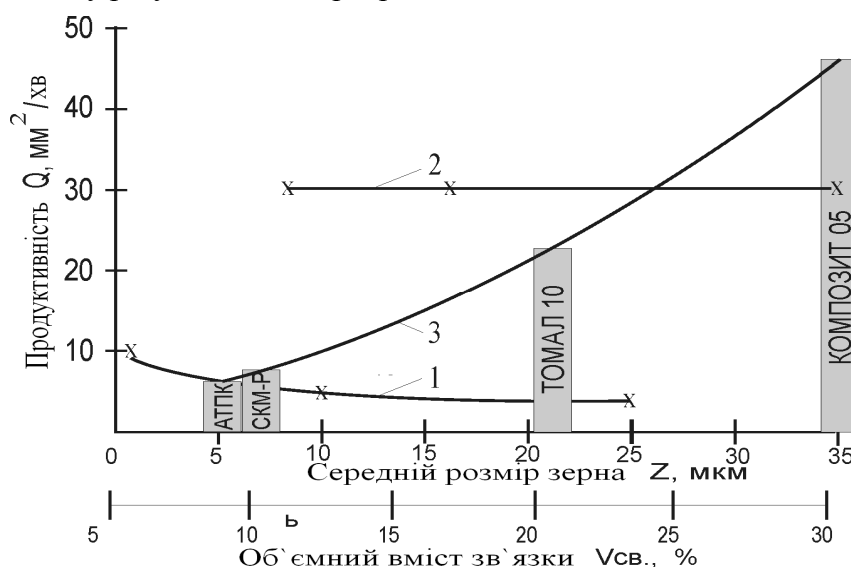
**Таблиця 1 – Електроерозійна стійкість оброблюваних матеріалів**

Оброблюваний матеріал	Алмаз	Хром	Нікель	Кобальт
$A_{\text{н\ddot{o}}}$	11,5-157	4,2	5,1	4,1

Оброблення ПНТМ як гетерогенних матеріалів зумовлює випереджальне електроерозійне руйнування зв'язки і таким чином сприяє реалізації механізму видалення оброблюваного матеріалу, згідно з яким зерна надтвердого матеріалу, а швидше за все їх частини, що не встигли піддатися розплавленню або випаровуванню, випадають у результаті електроерозійного видалення чи оплавлення зв'язки навкруги них.

Дослідження показали, що при невеликому об'ємі металевої зв'язки зі збільшенням розмірів початкових зерен надтвердого матеріалу продуктивність процесу однозначно знижується (рисунок 2, крива 1). Проте при переважаючих об'ємах зв'язки (наприклад, в алмазонасучому шарі круга на основі мікропорошків алмазу має у своєму складі 75 % зв'язки М2-01) картина різко міняється (рисунок 2, крива 2).

Використання зразків алмазонасучого шару круга на металевій зв'язці М2-01 з мікропорошками АСН 100% зернистістю  $Z = 10/7-40/28$  дає можливість забезпечення чистоти експерименту щодо встановлення впливу розміру зерен на вихідні показники ЕЕО при великому вмісті зв'язки. Дослідження показали, що збільшення зернистості порошку в указаних межах при діаметрі дроту 0,25 мм практично не позначається на продуктивності обробки. Це пов'язано з меншою ерозійною стійкістю алмазонасучого шару круга в цілому (через малу частку алмазних зерен), з одного боку, а з іншого – переважним проявом у таких умовах механізму знімання ПНТМ, згідно з яким зерна ПНТМ випадають у результаті електроерозійного видалення навколишньої їх зв'язки.



*Рисунок 1 – Вплив різних чинників на продуктивність ЕЕО:*

- 1 –  $Q = f(Z)$ , оброблюваний матеріал – синтетичний алмаз ( $V_{\text{н\ddot{o}}} \approx 4-13\%$ );
- 2 –  $Q = f(Z)$ , оброблюваний матеріал – алмазонасучий шар ( $V_{\text{н\ddot{o}}} \approx 75\%$ );
- 3 – вплив оброблюваного матеріалу (розташування зі зростанням  $V_{\text{н\ddot{o}}}$ )

Для підтвердження ролі металевої зв'язки були проведені експерименти щодо її впливу на ширину паза виробу, який прорізається. Відомо, що зазор на сторону залежить від величини напруги на електродах. Ця залежність лінійна і для випадку прорізання пазів може бути представлена формулою

$$\dot{a} = \hat{E}_{DE} \cdot U_o, \quad (3)$$

де  $\dot{a}$  – величина зазору на сторону, мм;  
 $\hat{E}_{DE}$  – коефіцієнт, який залежить від виду робочої рідини (наприклад, для гасу  $\hat{E}_{DE} = 0,125$ );  
 $U_o$  – напруга на електродах, В.

З другого боку, відповідно до залежності (1) можна записати, що

$$\dot{a} = \delta + l = \frac{\hat{A} - d}{2}. \quad (4)$$

Із залежностей (3) і (4) маємо, що ширина паза, який прорізається, має дорівнювати

$$\hat{A} = d + 2 \cdot \hat{E}_{DE} \cdot U_o. \quad (5)$$

Це значить, що згідно з виразами (3) – (5) значення параметрів  $B$  і  $\dot{a}$  не повинні залежати від оброблюваного матеріалу.

Експериментально встановлено, що при обробці ПНТМ на основі алмазу (наприклад, СКМ-Р і АТП), які мають приблизно однаковий об'ємний уміст зв'язки ( $V_{\dot{a}} \approx 8,5\text{--}10\%$ ), це положення витримується ( $B \approx 0,33$  мм,  $a \approx 0,04$  мм). Проте при обробці ПНТМ на основі КНБ К-05, котрий має у своєму складі набагато більше зв'язки (30%), ширина паза приблизно на 20% більша. У той же час за тих же умов обробки ПНТМ і, наприклад, алмазосучого шару круга зернистістю 10/7 ( $V_{\dot{a}} \approx 75\%$ ), ширини пазів, що прорізаються, після ЕЕО дротяним ЕІ відрізняються ще більш істотно ( $B \approx 0,45$  мм,  $a \approx 0,1$  мм).

Таким чином, одержані результати підтверджують положення про ключову роль при електроерозійній обробці таких показників, як процентний уміст металевої зв'язки у складі ПНТМ і його електроерозійна стійкість.

На відміну від зернистості порошку вихідного матеріалу вплив умісту зв'язки можна простежити навіть для різних оброблюваних матеріалів (рисунок 2, крива 3). При цьому можна стверджувати, що з точки зору продуктивності процесу збільшення  $V_{\dot{a}}$  є позитивним, а по відношенню до якості обробленої поверхні, особливо різальних кромок, негативним моментом (рисунок 3). Не стільки відмінністю теплопровідності, скільки підвищеним умістом металевої зв'язки можна пояснити той факт, що якість обробки електричною ерозією ПНТМ на основі КНБ гірше, ніж у полікристалів алмазу.

Як відомо, параметрами режиму ЕЕО є напруга, сила струму, а також частота напрямку електричних імпульсів, від значення яких залежать продуктивність і якість процесу. Тому вони повинні бути оптимізовані щодо отримання необхідної якості різальних кромок.

Відомо, що їх вплив на величину об'єму матеріалу, що видаляється в одиницю часу, має вигляд

$$Q = f(k, f_d, W_e),$$

де  $Q$  – об'єм матеріалу, що видаляється в одиницю часу;

$k$  – дослідна постійна величина (залежна, головним чином, від теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу, робочої рідини, умов видалення продуктів електричної ерозії і т.д.);

$f_d$  – дійсна частота електричних розрядів;

$W_e$  – енергія одиничного електричного імпульсу.

Установлено, що з режимних чинників найбільший вплив на якість робочих елементів лезових інструментів із ПНТМ має енергія одиничних імпульсів. Із її збільшенням різниця значень  $\hat{A}_{\dot{a}}$  зерен вихідного надтвердого матеріалу і зв'язки виявляється ще більшою мірою, що призводить до погіршення якості різальних кромок.

Як відомо, енергія одиничного імпульсу є функцією місткості й пробивної напруги і визначається за залежністю

$$W = \frac{C \cdot U_{iD}^2}{2} \approx \frac{0,72 \cdot C \cdot U_{\dot{A}E}^2}{2}, \quad (6)$$

де  $W$  – енергія одиничного електричного імпульсу, Дж;

$C$  – місткість конденсатора, Ф;

$U_{iD} \approx 0,72 \cdot U_{\dot{A}E}$  – пробивна напруга, В;

$U_{\dot{A}E}$  – напруга джерела живлення, В.

Дослідження впливу одиничних електричних імпульсів на електроерозійне видалення ПНТМ на основі алмазу дозволили одержати залежність, що пов'язує об'єм лунки від розряду ( $V_{\dot{e}}, 10^{-4} \text{ і } \dot{i}^3$ ) із місткістю конденсатора ( $\dot{N}$ ) і величиною МЕРП ( $\delta$ ), які згідно з виразом (6) визначають енергію одиничного імпульсу [ $X1=-1, 0+1$  ( $\dot{N}=100, 250, 400$  мФ),  $X2=-1, 0+1$  ( $\delta=2, 7, 12$  мкм)  $U=100$  В]:

$$V_{\dot{e}} = (1,58 + 0,20 \cdot \dot{O}1 - 0,66 \cdot \dot{O}2 - 0,08 \cdot \dot{O}1 \cdot \dot{O}2 - 0,05 \cdot \dot{O}1^2 + 0,35 \cdot \dot{O}2^2). \quad (7)$$

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Перевагою полікристалів алмазу порівняно з КНБ слід вважати той факт, що, як відомо, алмаз у нестабільній атмосфері, що окислюється, при температурі, більшій ніж  $700^\circ\text{C}$ , і в процесі високої теплової дії, яким супроводжуються електроіскрові розряди, може перетворюватися на графіт.

Утворення графітованого поверхневого шару, що є хорошим провідником електричного струму, має ряд позитивних моментів. По-перше, полегшує подальше протікання ерозії алмазу; по-друге, розсіює енергію імпульсу по більшій довжині кромки і, по-третє, знижує порогове значення імпульсів струму. У результаті цього якість кромки інструментів на основі алмазу після ЕЕО набагато краща, ніж КНБ. Зниження порогового значення імпульсів струму у свою чергу дозволяє у разі потреби робити чистові проходи при більш ощадних електричних режимах, що сприятливо відбивається на якості кромки. Дослідженнями встановлено, що в робочому діапазоні величин енергії  $2 - 13,5$  мДж значення параметрів  $Rz$  і  $\rho$  різальних кромки алмазних інструментів знаходяться в межах  $10-50$  мкм, а величина кратерів від електроерозійних розрядів на кромках у діапазоні  $10-100$  мкм. У зв'язку із цим визначені оптимальні режими ЕЕО дротяним ЕІ стосовно різних марок ПНТМ із точки зору вимог до мінімізації витрат на етапі чистового алмазного шліфування (таблиця 2).

**Таблиця 2 – Режими ЕЕО ПНТМ, що рекомендуються**

Оброблюваний ПНТМ	Енергія імпульсів $W$ , мДж	Частота імпульсів $f$ , кГц
СКМ-Р, АТПМ	4-6	8
К-05	9-11	6
Томал	11-13,5	4

Таким чином, можна вважати, що ЕЕО дротяним ЕІ є достатньо серйозною альтернативою чорновій обробці ПНТМ алмазним шліфуванням кругами на основі шліфпорошків алмазу як щодо економії полікристалів, так і отримання необхідної якості різальних кромки для подальшої чистової обробки.

#### Література

1. Романов, В.Ф. Специальные инструменты из поликристаллических алмазов (PCD), кубического нитрида бора (PCBN) и керамики для высокоскоростного резания деталей из черных и цветных металлов / В.Ф. Романов // Резание и инструмент в технологических системах. – 2002. – Вып. 63. – С. 139–144.

2. Кинетика образования поликристаллического алмаза / [Колчманов Н.А., Ножкина А.В., Лаптев А.И., Колчманов Д.Н.] // Сверхтвердые материалы. – 2003 – №2. – С. 26 – 31.

3. Романов, В.Ф. Режущие инструменты для оснащения современного автомобильного производства / В.Ф. Романов // Резание и инструмент в технологических системах. – 2002. – Вып. 63. – С. 136–138.

4. Синтез алмазов / под ред. Н. В. Новикова. – К.: Наукова думка, 1987. – 160 с.

5. Магазеев, М.Г. Повышение эффективности изготовления профильных инструментов из сверхтвердых и керамических материалов за счет сочетания электроэрозионной и алмазной обработки: дис...канд. техн. наук: 05.03.01 / Магазеев Михаил Геннадиевич. – Харьков, 1997. – 204 с.

6. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: справочник / В.П. Жедь и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

7. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

Надійшла до редакції 11.04. 2011

© І.М. Пижов, С.І. Кравченко, С.Г. Ясько, В.Г. Клименко

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ КРОМОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Рассматривается задача сведения к минимуму использования черного алмазного шлифования при обработке инструмента на основе поликристаллических сверхтвердых материалов путем использования электроэрозионной обработки для уменьшения сколов на их режущих кромках.*

**Ключевые слова:** поликристаллические сверхтвердые материалы, алмазное шлифование, электроэрозионная обработка.

## **FEATURES OF CUTTING EDGES SUPERHARD POLYCRYSTALLINE MATERIALS PROCESSING IN ELEKTROEROZIYNOY**

*We consider the problem to minimize the use of rough diamond grinding processing instruments based polycrystalline super hard materials using elektroeroziynoy treatment to reduce the chips on their cutting edges.*

**Key words:** polycrystalline super hard materials, diamond grinding, elektroeroziynaya treatment.