

established that with its increase the ratio of surface roughness parameters R_a/R_{max} changes according to the extreme dependence, passing the maximum point, and the ratio of surface roughness parameters R_{max}/R_a , on the contrary, passes the minimum point. The values of R_{max}/R_a in a wide range of changes in the magnitude of the remote part of the micro-inequalities differ slightly from the extreme value and vary in the range 4 – 10. This is characteristic of grinding conditions and is confirmed by experimental data obtained during grinding and presented in scientific technical literature. When abrasive polishing, the ratio R_{max}/R_a can be much higher and reach values of 30 or more, which is also confirmed by experimental data. The ratio of surface roughness parameters R_a/R_{max} takes values that can vary in a wide range from 0 to 0.3. Thus, based on the proposed theoretical approach, it was possible to determine the nature of the change in surface roughness parameters regularities of surface roughness formation during abrasive processing, made taking into account only the parameter R_a . Calculations have shown that the internal surface roughness parameter R_a is much higher than in abrasive polishing. Therefore, to reduce it, it is proposed to carry out internal grinding in a circle with a soft base, for example, a soft felt (felt) circle with a glued layer of abrasive powder 63C 20P. This abrasive wheel provides drowning of abrasive grains in connection and increase in number of working grains that, as it is established experimentally, leads to decrease in surface roughness at simultaneous increase in productivity of processing. As a result, it is possible to combine the operations of preliminary and final internal abrasive grinding in one operation with the provision of the necessary (high) roughness of the treated surfaces and a significant reduction in the complexity of processing. It is theoretically established that the surface roughness parameter can also be reduced by increasing the speed of the circle and decreasing the speed of the transverse feed.

Keywords: abrasive polishing, internal grinding, soft felt wheel, abrasive powder, number of working grains, processing performance.

Стаття надійшла 04.04.2021 р.

УДК 621.923

doi.org/10.31498/2522-9990242021249902

© Новіков Ф. В., Новіков Г. В., Дитиненко С. О., Анділахай О. О.

ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ ТЕХНОЛОГІЙ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

У роботі показано, що найбільш ефективною технологією алмазного шліфування щодо поліпшення екології виробництва є шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках із застосуванням їх електроерозійної правки для відновлення ріжучих властивостей та підвищення якості та продуктивності обробки. Цей метод правки можна здійснювати із застосуванням звичайної технічної води, що не чинить шкідливої дії на здоров'я працівника й використовуване обладнання. Показано, що за певних умов об'єм металевої зв'язки, що видаляється в результаті дії електричних розрядів, може бути більше об'єму металевої зв'язки, що видаляється в процесі її електрохімічного розчинення. Тому в цих умовах відпадає необхідність в електрохімічному розчиненні металевої зв'язки, оскільки її можна видалити за рахунок присутності в процесі правки електричних розрядів. Тому в роботі розроблено практичні рекомендації щодо створення на основі застосування електроерозійної правки екологічно чистих технологій шліфування алмазно-абразивними інструментами (алмазними кругами) на металевих зв'язках виробів, виготовлених із різноманітних металевих та неметалевих важкооброблюваних матеріалів, включаючи шліфування виробів з твердих сплавів

Машинобудування і зварювальне виробництво

та з наплавленими високоміцними матеріалами, розрізання високотвердих порід каменю, нарізання граней на поверхнях виробів із кристалу, огранювання природних алмазів в діаманти, обробку виробів із важкооброблюваних керамік й феритів та ін. Наведено, що в результаті практичного застосування цих технологій з'являється можливість здійснювати екологічно чисту механічну обробку шліфуванням на промислових підприємствах України виробів з матеріалів високої твердості з забезпеченням високих показників якості та продуктивності.

***Ключові слова:** екологія виробництва, здоров'я працівника, обробка шліфуванням, алмазний круг на металевій зв'язці, електроерозійна правка круга, електрохімічне розчинення.*

Постановка проблеми. У виробництві для обробки деталей із матеріалів підвищеної твердості застосовують метод алмазного шліфування, в тому числі метод шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках. Для відновлення різальної здатності алмазних кругів широко використовують механічні методи правки, які викликають утворення абразивного пилю на робочому місці. Це значно погіршує екологію виробництва та шкідливо впливає на здоров'я працівника й застосовуване обладнання, засмічуючи його та інтенсивно зношуючи рушійні частини.

Для відновлення різальної здатності алмазних кругів на металевих зв'язках застосовують більш досконалий метод електрохімічної правки, який заснований на електрохімічному розчиненні металевої зв'язки в середовищі електроліту. Але він також погіршує екологію виробництва внаслідок наявності в зоні обробки шкідливих для здоров'я працівника й обладнання сильних електролітів. Потік електроліту, що виходить із отвору в соплі, внаслідок розбризкування охоплює значну частину зони обробки, що викликає корозію обладнання та передчасний вихід його з ладу. Бризки електроліту також потрапляють на руки працівника, що може призвести до його професійного захворювання. При цьому відбувається розпорошення потоку електроліту та утворення електролітного туману, що містить шкідливі для організму людини компоненти, який працівник на протязі зміни вдихає та погіршує своє здоров'я.

Найбільш екологічно чистим порівняно з методом електрохімічної правки є метод електроерозійної правки, який виключає застосування шкідливих електролітів з технологічного процесу правки. Цей метод правки можна здійснювати із застосуванням звичайної технічної води, що не чинить шкідливої дії на здоров'я працівника й використовуване обладнання. Тому важливо розробити практичні рекомендації щодо його більш ефективного практичного застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемі створення екологічно чистих технологій алмазного шліфування виробів, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів, в науково-технічній літературі постійно приділяється значна увага. Їй присвячені роботи М. К. Беззубенко, А. І. Грабченко, І. П. Захаренко, В. А. Рибицького, В. І. Лавриненко [1–3, 5, 6, 10–12], в яких розглянуто питання підвищення ефективності методів правки алмазних кругів щодо поліпшення екологічних умов промислового виробництва. Показано ефективність застосування прогресивного методу електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках (взамін традиційно застосовуваних екологічно небезпечних методів механічної та електрохімічної правки) із забезпеченням високих екологічних та техніко-економічних показників алмазного шліфування. Однак кількість питань, виникаючих при цьому, вимагає й подальшого поглибленого вивчення даної проблеми. Тому важливо обґрунтувати вибір оптимальних екологічних рішень при створенні екологічно чистих технологій алмазного шліфування. Для цього слід розглянути закономірності формування екологічних умов виробництва при шліфуванні, виявити основні недоліки діючих технологій алмазного шліфування, які пов'язані, головним чином, із застосуванням екологічно небезпечних методів механічної та електрохімічної правки алмазних кругів на металевих зв'язках. Це дозволить розробити практичні рекомендації з ефективного

застосування метода електроерозійної правки для підготовки до роботи алмазних кругів на металевих зв'язках та забезпечення екологічно чистих умов шліфування.

Мета роботи – обґрунтування умов поліпшення екології виробництва при алмазному шліфуванні шляхом застосування ефективного методу електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках.

Викладення основного матеріалу. При електрохімічній правці алмазного круга на металевій зв'язці поряд з процесом електрохімічного розчинення металевої зв'язки у зв'язку з появою електричних розрядів між алмазним кругом і оброблюваною деталлю протікає процес електроерозії. В результаті дії електричних розрядів виникає надзвичайно висока температура в зоні різання, що приводить до локального ударно-термічного мікроруйнування металевої зв'язки (рис. 1) [2] та видалення з робочої поверхні круга затуплених алмазних зерен. Це забезпечує високу ріжучу здатність алмазного круга на металевій зв'язці. Встановлено, що чим вище сила електричного струму, що підводиться в зону шліфування, тим більш інтенсивно протікає процес електроерозії й більш значним стає об'єм металевої зв'язки, яка видаляється від дії електричних розрядів. Встановлено, що за певних умов об'єм металевої зв'язки, що видаляється в результаті дії електричних розрядів, може бути більше об'єму металевої зв'язки, що видаляється в процесі її електрохімічного розчинення. Тому в цих умовах відпадає необхідність в електрохімічному розчиненні металевої зв'язки, оскільки її можна видалити за рахунок присутності в процесі правки електричних розрядів.

Для утворення електричних розрядів між алмазним кругом та оброблюваним матеріалом слід забезпечити певний зазор між ними. Це не вимагає застосування рідини. Застосування рідини може бути пов'язано з поліпшенням умов вимивання із зони обробки продуктів електроерозійного руйнування металевої зв'язки.

Виходячи з цього, для ефективного протікання процесу електроерозії достатньо в зону обробки подавати звичайну технічну воду, яка на відміну від застосовуваних електролітів при електрохімічній правці алмазного круга, виключає шкідливий вплив на працівника та устаткування.

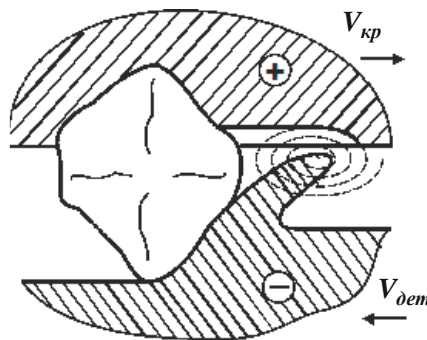


Рисунок 1 – Схема електроерозійної дії на металеву зв'язку алмазного круга
($V_{кр}$ – швидкість круга; $V_{дет}$ – швидкість деталі)

По суті, це стало основою широкого застосування на практиці метода електроерозійної правки алмазного круга на металевій зв'язці, який заснований на введенні в зону шліфування додаткової електричної енергії у формі електричних розрядів [1, 2, 4, 7 – 9].

Тому метод електроерозійної правки алмазного круга на металевій зв'язці здійснюється із застосуванням звичайної технічної води (з антикорозійною добавкою: 1,5 – 3 % содового розчину), яка подається через сопло в зону шліфування. Термічна дія електричного розряду приводить до ерозії ділянок металевої зв'язки алмазного круга й утворення лунок. Продукти ерозії металевої зв'язки у вигляді застиглих частинок вимиваються із зони обробки

Машинобудування і зварювальне виробництво

міжелектродного середовища, що приводить до оголення нових зерен і відновлення ріжучої здатності алмазного круга на металевій зв'язці. Цим показано, що метод електроерозійної правки алмазного круга на металевій зв'язці на відміну від методу електрохімічної правки є більш екологічно безпечним, що забезпечує високі техніко-економічні показники обробки.

На цій основі розроблено високопродуктивний метод алмазно-іскрового шліфування (електроерозійного шліфування), в якому електродом служить оброблювана металева деталь, а електричний струм безперервно подається в зону шліфування [1, 2]. В результаті постійно підтримується висока ріжуча здатність алмазного круга на металевій зв'язці, що дозволяє суттєво підвищити якість та продуктивність обробки.

На основі використання методу електроерозійної правки алмазного круга на металевій зв'язці, розроблено ефективні технології шліфування виробів з важкооброблюваних матеріалів, що має важливе практичне значення.

1. У виробництві та побутових умовах широко використовуються шліфувальні круги з напаяваними алмазовмісними елементами на металевій зв'язці, які встановлюють уздовж зовнішньої поверхні круга з певним інтервалом, тобто це, по суті, так звані переривчасті круги. Їх застосовують при шліфуванні виробів з твердих сплавів та з наплавленими високоміцними матеріалами, при розрізанні матеріалів, вишліфовуванні пазів, канавок тощо. Основна проблема їх підготовки до роботи – це видалення різновисотного виступання алмазовмісних елементів (висотою до 1 мм), яке виникає в процесі їх напаявання. Традиційно цю різновисотність видаляють шліфуванням зовнішньої поверхні алмазного круга звичайним абразивним кругом. При цьому алмазний круг обертається зі значною швидкістю (30 – 40 м/с), а абразивний круг – з невеликою швидкістю (до 5 м/с). Однак, як встановлено, процес шліфування в цьому випадку надзвичайно тривалий, особливо при обробці алмазних кругів на високоміцних (наприклад, кобальтових) зв'язках, супроводжується значною витратою абразивних кругів і утворенням шкідливого для здоров'я працівника абразивного пилу, який йому доводиться вдихати протягом усього робочого часу. Тому, найчастіше, працівник захищається від пилу застосуванням протигаза, що, безсумнівно, викликає значні труднощі при виконанні роботи. Застосування вентиляційних пристроїв також повною мірою проблему забезпечення екології виробництва та робочого місця не вирішує. Тому ефективним засобом підвищення екології виробництва в даному випадку слід розглядати застосування методу електроерозійної правки для усунення різновисотного виступання алмазовмісних елементів на алмазному крузі. Як вже зазначалося, цей метод правки виключає утворення абразивного пилу й забезпечує високу екологію виробництва, дозволяє суттєво підвищити продуктивність обробки й скоротити час усунення різновисотного виступання алмазовмісних елементів на крузі.

Особливо значний ефект можна досягнути при обробці великогабаритних сегментних алмазних пил діаметром 1000 мм та більше, які застосовуються при розрізанні високотвердих порід каменю. В цьому випадку для високопродуктивного усунення різновисотного виступання алмазовмісних елементів на крузі (висотою до 1 мм) необхідно використовувати генератори імпульсного або постійного електричного струму підвищеної потужності. Це дозволить, наприклад, замінити традиційно застосовуване на практиці обладнання для механічної обробки (шліфування абразивним кругом) великогабаритних сегментних алмазних пил. В цьому випадку витрачається велика кількість абразивних кругів, які внаслідок інтенсивного зносу перетворюються в абразивні відходи з утворенням абразивного пилу, шкідливого для здоров'я працівника й нормальної роботи обладнання.

При електроерозійній правці великогабаритних сегментних алмазних пил слід розглядати ефективним застосування гнучкого електрода у вигляді щітки. Це дозволить здійснювати електроерозійну правку одночасно всіх алмазовмісних елементів, що мають різну висоту виступання на крузі, оскільки при використанні жорсткого електрода електроерозійній правці в початковий період будуть піддаватися лише найбільш виступаючі алмазовмісні елементи. В

Машинобудування і зварювальне виробництво

кінцевому підсумку це сприятиме підвищенню продуктивності процесу правки й скороченню часу його здійснення. Крім того, як відомо [3, 6], застосування гнучкого електрода (за рахунок суттєвого підвищення концентрації електричного струму i_T) дозволить підвищити якість розкриття алмазного шару круга – алмазні зерна будуть на велику висоту виступати над рівнем зв'язки, що сприятливо позначиться на ріжучій здатності алмазного круга й дозволить підвищити продуктивність та якість обробки при шліфуванні.

2. При нарізанні граней на поверхнях виробів з кришталю (ваз, графінів, келихів та ін.) традиційно застосовуються конусні алмазні круги на високоміцних металевих зв'язках з гострим кутом при вершині, наприклад, на металевій зв'язці М2-01 з розміром зерна алмазного порошку АС6 50 ... 100 мкм (рис. 2).

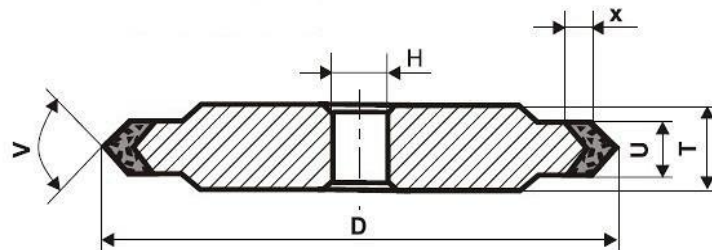


Рисунок 2 – Конусний алмазний круг на металевій зв'язці

Для ефективного застосування ці алмазні круги профілюють на токарному верстаті з метою забезпечення високої гостроти кута у вершині з використанням абразивного бруска, який при обробці притискається до алмазного круга, що обертається. Процес профілювання алмазного круга займає достатньо великий проміжок часу й супроводжується інтенсивним утворенням абразивного пилу, шкідливого для здоров'я робітника. Очевидно, працювати в цьому випадку надзвичайно складно у зв'язку з екологічно шкідливими умовами.

Крім того, з технічної точки зору процес механічної правки алмазного круга за допомогою звичайного абразивного бруска не забезпечує необхідної точності робочої частини круга й, особливо, кута у його вершині. Замість гострого кута утворюється радіусний кут, що знижує якість нарізання граней (гострих канавок) на поверхнях виробів з кришталю. Також складно усунути радіальне биття круга безпосередньо на верстаті, здійснити якісну правку алмазовмісного шару круга (забезпечити значне виступання зерен зі зв'язки). В результаті втрачається товарний вигляд виробів з кришталю та їх дизайн – порушується рисунок і його яскраве зорове сприйняття.

Встановлено, що при нарізанні граней на поверхнях виробів з кришталю алмазним кругом, як і при шліфуванні металевих виробів, можливе утворення припикань, мікротріщин та інших температурних дефектів. Це різко знижує якість обробки й вимагає їх усунення на наступних операціях доведення. Для цього традиційно використовують шкідливу для здоров'я працівника технологію хімічного полірування, яку здійснюють із застосуванням кислоти. Тривалість хімічного полірування залежить від глибини порушеного поверхневого шару виробу з кришталю. Тому з метою зниження негативного впливу на працівника застосовуваної кислоти при хімічному поліруванні важливо зменшити або навіть виключити утворення дефектного шару на поверхні виробу з кришталю в процесі нарізування граней алмазним кругом на металевій зв'язці. Для цього необхідно забезпечити його високу ріжучу здатність шляхом застосування високоефективного нешкідливого для здоров'я працівника метода електроерозійної правки.

Підвищення ріжучої здатності алмазного круга на металевій зв'язці також дозволить зменшити силу різання й навантаження, які випробовує працівник, тримаючи в руках в процесі обробки виріб з кришталю, тобто в процесі нарізування граней вручну. В результаті обробка виробів гострим алмазним кругом буде відбуватися швидше, й не буде викликати швидкого

Машинобудування і зварювальне виробництво

стомлення працівника порівняно з обробкою затупленим алмазним кругом, що має місце в діючій технології. Це призведе до підвищення продуктивності праці, й працівник буде здатний протягом зміни виконувати задану або підвищену норму виробітку.

Тому проблема забезпечення високої ріжучої здатності алмазного круга на металевій зв'язці в процесі нарізання граней на виробх з кришталю має велике практичне значення. Виходячи з цього, для поліпшення екології процесу підготовки алмазного круга до роботи, а також підвищення якості виготовлення виробів з кришталю, доцільно замість механічної правки абразивним бруском використовувати екологічно чисту технологію електроерозійної правки конусних алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках. Проведені експериментальні дослідження [8] показали, що застосування електроерозійної правки дозволяє за рахунок підвищення ріжучої здатності конусного алмазного круга на металевій зв'язці суттєво підвищити продуктивність та якість нарізання граней на виробх з кришталю, знизити значні фізичні навантаження на працівника, які мають місце в процесі "ручного" нарізання граней на виробх з кришталю, а головне – забезпечити екологічно чисті умови виробництва виробів з кришталю.

Практика показує, що алмазний круг на металевій зв'язці в процесі обробки періодично затупляється, тому його необхідно правити. Як і при первинній підготовці до роботи, алмазний круг традиційно піддається механічній правці абразивним бруском, який утримує в руках працівник-різьбяр. Однак здійснювана таким способом правка круга на робочому місці не є якісною, оскільки не вдається забезпечити гостру вершину круга та якісно розкрити алмазовмісний шар круга. В результаті працівнику-різьбяру доводиться працювати затупленням алмазним кругом і притискати його до оброблюваного виробу з підвищеним навантаженням, а це, як зазначалося вище, приводить до швидкої стомлюваності працівника й зниження продуктивності праці. Шліфування затупленим алмазним кругом також приводить до зниження якості обробки. В зв'язку з цим, слід і в даному випадку застосовувати ефективну електроерозійну правку. Однак, оскільки шліфування проводиться вручну, традиційні схеми електроерозійної правки не можна застосувати. Необхідна принципово нова схема правки. Такою схемою може бути правка з використанням ручного ізольованого електроду, як це показано на рис. 3.

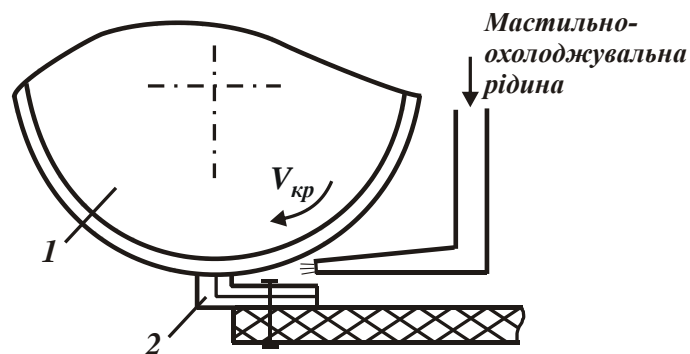


Рисунок 3 – Схема електроерозійної правки алмазного круга (1) з використанням електроду (2), який може утримувати в руках працівника-шліфувальник

Машинобудування і зварювальне виробництво

В цьому випадку ізольований Г-подібний електрод притискається до периферії круга в зоні інтенсивного попадання на нього охолоджуючої рідини, що забезпечує швидке очищення поверхні алмазного круга від продуктів обробки і розкриття його алмазовмісного шару. Як показали попередні дослідження, достатній для правки алмазного круга час складає всього 5 – 7 секунд при силі електричного струму 15 – 20 А. При цьому стійкість алмазного круга на металевій зв'язці М1-01 після правки з використанням ручного ізольованого електроду багаторазово збільшується порівняно зі стійкістю круга після звичайної механічної правки абразивних брусом. Це дозволяє якісно здійснювати нарізування граней на поверхнях виробів з кристалю за умов високої екології виробництва.

Таким чином, розроблені практичні рекомендації створення екологічно чистої технології електроерозійної правки алмазного круга на металевій зв'язці для нарізування граней на поверхнях виробів з кристалю відкриває нові технологічні можливості високоякісної та високопродуктивної обробки, що виключає шкідливу дію на здоров'я працівника та забезпечує високу екологію виробництва. Запропонована технологія з високою ефективністю впроваджена у виробництво.

Метод електроерозійної правки може бути ефективно використаний замість застосовуваної механічної правки абразивним брусом алмазного круга на металевій зв'язці форми 1А1, яким традиційно здійснюється кругле зовнішнє шліфування виробів з кристалю. Це також дозволить поліпшити екологічні умови обробки та якість правки алмазного круга порівняно з правкою абразивним брусом, після якої в процесі шліфування утворюються відколи на оброблюваній поверхні виробу з кристалю.

3. Однією з найбільш ефективних умов застосування електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках слід розглядати технологію огранювання природних алмазів в діаманти. У зв'язку з високою твердістю природних алмазів їх обробку здійснюють виключно алмазно-абразивними інструментами. Для цього традиційно використовують алмазні круги, виготовлені електрогальванічним методом – шляхом осідання алмазного порошку, який знаходиться у ванні з водою, на тонкий корпус шліфовального круга. В якості зв'язуючого елемента застосовується нікель або інші пластичні метали. В результаті на робочій поверхні круга утворюється міцне одношарове алмазно-нікелеве з'єднання, що складається з виступаючих на певну висоту алмазних зерен, які при шліфуванні повинні виконувати функцію ріжучих елементів. Алмазні круги, виготовлені електрогальванічним методом, отримали широке застосування на операціях огранювання природних алмазів в діаманти. Ефект обробки полягає в тому, що в цих кругах алмазні зерна виступають приблизно на однакову висоту й мають високу поверхневу концентрацію – до 400 %. Це забезпечує високопродуктивне знімання оброблюваного матеріалу й високоякісну обробку.

Звичайні алмазні круги на металевих зв'язках, що виготовляються методом пресування й спікання, тобто методом порошкової металургії, мають концентрацію алмазних зерен до 200 %, різновисотне розташування ріжучих зерен на робочій поверхні круга й биття круга 0,1 мм й більше, що фактично виключає їх ефективне застосування для огранювання природних алмазів в діаманти.

Для нормальних умов обробки биття круга не повинно перевищувати 0,01 мм. Очевидно, забезпечити таку високу точність алмазного круга традиційними методами механічної правки неможливо. Крім того, неможливо виготовити алмазні круги методом пресування й спікання з концентрацією алмазних зерен 200 % й більше, що необхідно для здійснення огранювання природних алмазів в діаманти. Тому алмазні круги, що виготовляються методом пресування й спікання, не отримали застосування в діамантовому виробництві. Разом з тим, як показує практика, технологія виготовлення алмазних кругів електрогальванічним методом характеризується дуже низькою екологією виробництва в зв'язку з наявністю електрохімічних

Машинобудування і зварювальне виробництво

процесів у великих ваннах, заповнених технічною водою. Працювати в цих умовах надзвичайно складно, оскільки в кінцевому підсумку це призводить до професійних захворювань працівників.

Тому для забезпечення екологічно чистих (нешкідливих) для здоров'я працівників умов праці слід відмовитися від виробництва алмазних кругів електрогальванічним методом й виготовляти алмазні круги на металевих зв'язках методом пресування й спікання, який характеризується більш вигідними умовами з екологічної точки зору виробництва. Завдяки використанню електроерозійної правки з'являється можливість їх ефективної підготовки для огранювання природних алмазів в діаманти, виключаючи шкідливі для здоров'я працівників умови виготовлення алмазних кругів електрогальванічним методом. За наявними даними, електроерозійна правка забезпечує точність робочої поверхні алмазного круга в межах 0,01 мм, чого цілком достатньо для здійснення процесу огранювання природних алмазів в діаманти. Основним недоліком обробки в даному випадку є відносно низька концентрація алмазних зерен в крузі, що складає всього 100 – 150 %. Для усунення цього недоліку в процесі обробки слід використовувати додатковий алмазний порошок у вільному стані для шаржування ним робочої поверхні круга. В результаті поверхневу концентрацію алмазних зерен в крузі можна збільшити до 400 %, що є необхідною умовою здійснення процесу огранювання природних алмазів в діаманти.

Попередні результати досліджень, опубліковані в роботі [9], підтвердили ефективність запропонованого технічного рішення. Використовуючи електроерозійну правку, вдалося забезпечити точність зовнішньої поверхні алмазного круга на металевій зв'язці 6A2 300x60x5x50 AC6 10/7 4 M3-04 в межах 0,01 мм. Це стало важливим чинником його ефективного застосування для огранювання природних алмазів в діаманти й відходу від виготовлення тонких алмазних кругів електрогальванічним методом, який екологічно шкідливий для здоров'я працівника.

Ще одним прикладом ефективного застосування методу електроерозійної правки слід розглядати технологію відновлення зношених алмазних кругів, виготовлених електрогальванічним методом. Традиційно для цього використовують механічний метод, в результаті якого здійснюється усунення залишків алмазовмісного шару з корпусу шліфувального круга з інтенсивним утворенням шкідливого для здоров'я працівника абразивного пилу. Якщо використовувати електроерозійний метод, то можна достатньо просто в екологічно чистих умовах видалити цей залишок алмазно-нікелевого шару покриття, що залишився після роботи круга, й таким способом підготувати круг для подальшого нанесення на нього електрогальванічним методом нового алмазовмісного шару. Це має надзвичайно велике значення з точки зору екології виробництва й поліпшення умов праці працівника. Однак це слід розглядати «півмірою» в забезпеченні екологічно чистого діамантового виробництва. Повною мірою слід розглядати перехід від виробництва й використання алмазних кругів, виготовлених електрогальванічним методом, до застосування алмазних кругів, виготовлених методом пресування й спікання, та підготовлених до роботи електроерозійним методом, як це описано вище.

4. Обробку виробів з важкооброблюваних керамік й феритів, які характеризуються підвищеною твердістю, здійснюють виключно алмазними кругами на міцних металевих зв'язках, виготовленими методом пресування й спікання, тобто методом порошкової металургії. Як відомо, у зв'язку зі значними навантаженнями, що виникають в процесі шліфування, ці круги швидко затупляються та засалюються й втрачають ріжучу здатність, що вимагає їх часті правки. Традиційно правка здійснюється механічним методом із застосуванням звичайних абразивних кругів. Тривалість правки достатньо велика, особливо великогабаритних (діаметром 1000 мм й більше) збірних торцевих алмазних кругів на міцних кобальтових зв'язках (рис. 4), які застосовуються при шліфуванні на верстатах моделі 3Д756 з обертовим робочим столом. На цьому столі можна встановлювати достатньо велику кількість оброблюваних деталей з керамік й феритів, і виконувати шліфування з надзвичайно високою продуктивністю, але це вимагає

Машинобудування і зварювальне виробництво

здійснення достатньо частих правок круга (2 – 3 рази за зміну). Тривалість механічної правки може бути кілька годин. При цьому відбувається інтенсивний знос абразивних кругів, що призводить до великих об'ємів їх споживання, так як в силу високої твердості алмазні круги фактично не піддаються механічній правці.

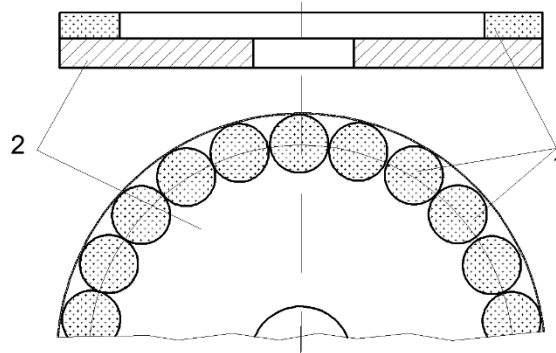


Рисунок 4 – Збірний алмазний круг для торцевого шліфування неметалевих матеріалів підвищеної твердості:

1 – алмазовмісні елементи; 2 – диск

Як показує практика, процес правки протікає з інтенсивним утворенням абразивного пилу й працівнику частіше доводиться працювати в протигазі. Це різко знижує екологію виробництва. Особливо високий рівень забруднення абразивним пилом має місце на початку підготовки збірного алмазного круга до роботи. Вся складність полягає в тому, що після збирання алмазного круга, тобто установки (приварювання) до його торцевої поверхні алмазовмісних ріжучих елементів в формі циліндрів діаметром 40 мм, спостерігається їх значна різновисотність (в межах 1 мм).

Для усунення цієї різновисотності використовується метод механічної правки з великим споживанням абразивних кругів діаметром 600 мм й більше. Процес правки триває кілька змін в умовах інтенсивного утворення абразивного пилу. Весь цей час працівник повинен стежити за процесом правки й вдихати цей шкідливий для здоров'я абразивний пил, що, очевидно, викликає великі незручності в процесі роботи й призводить в кінцевому підсумку до професійного захворювання працівника. Однак, незважаючи на зазначені недоліки, цей шкідливий для здоров'я працівника метод правки тривалий час залишався єдиним можливим методом підготовки збірного алмазного круга до роботи, а також для здійснення його частих правок в процесі шліфування для забезпечення високої ріжучої здатності й, відповідно, високих показників якості та продуктивності обробки.

З урахуванням сказаного, вирішити проблему підвищення продуктивності процесу правки й поліпшення екологічних умов виробництва при обробці виробів з керамік й феритів можна застосуванням прогресивного методу електроерозійної правки.

Проведені експериментальні дослідження можливостей ефективного переходу від механічної правки до періодичної електроерозійної правки при обробці виробів з керамік й феритів показали, що після 20 хвилин електроерозійної правки забезпечується якісне розкриття алмазовмісного шару круга, алмазні зерна виступають над рівнем зв'язки на значну висоту [7]. Це суттєво підвищує стійкість алмазного круга та зменшує кількість правок: його необхідно правити лише 1 раз в 7 змін, тоді як при звичайній абразивній правці – по 2 – 3 рази за зміну. При цьому забезпечуються безпечні для здоров'я робітника умови правки й суттєво покращується екологія виробництва – відсутнє утворення абразивного пилу.

Застосування електроерозійної правки дозволяє також вирішити проблему усунення різновисотного розташування алмазовмісних ріжучих елементів на торцевій поверхні

Машинобудування і зварювальне виробництво

алмазного круга. Як показали експериментальні дослідження, для цього достатньо здійснювати правку електроерозійним методом протягом декількох годин, тоді як при використанні абразивних кругів правка здійснювалася на протязі декількох змін.

Таким чином показано, що застосування електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках дозволяє успішно вирішити як технічну, так і екологічну проблему при виробництві виробів з важкооброблюваних керамік й феритів – виключити умови утворення абразивного пилу та його шкідливого впливу на робітника, що мало місце в умовах механічної правки із застосуванням звичайних абразивних кругів.

ВИСНОВКИ

У результаті аналізу літературних джерел щодо обґрунтування умов поліпшення екології виробництва виробів, виготовлених із важкооброблюваних металевих та неметалевих матеріалів, виявлено, що найбільш ефективною є технологія шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках із застосуванням їх електроерозійної правки для відновлення ріжучих властивостей та підвищення якості та продуктивності обробки. На відміну від традиційно застосовуваних методів механічної та електрохімічної правки алмазних кругів, застосування електроерозійної правки дозволяє значно покращити екологію виробництва, не чинить шкідливої дії здоров'ю працівника й використовуване устаткування. Це відкриває широкі перспективи створення екологічно чистих технологій алмазного шліфування виробів, виготовлених із металевих та неметалевих важкооброблюваних матеріалів. Виходячи з цього, в роботі розроблено практичні рекомендації щодо створення на основі застосування електроерозійної правки екологічно чистих технологій шліфування алмазно-абразивними інструментами (алмазними кругами) на металевих зв'язках виробів, виготовлених із різноманітних металевих та неметалевих важкооброблюваних матеріалів, включаючи шліфування виробів з твердих сплавів та з наплавленими високоміцними матеріалами, розрізання високотвердих порід каменю, нарізання граней на поверхнях виробів із кристалю, огранювання природних алмазів в діаманти, обробку виробів із важкооброблюваних керамік й феритів та ін. В результаті практичного застосування цих технологій з'являється можливість здійснювати екологічно чисту механічну обробку на промислових підприємствах України виробів з матеріалів високої твердості з забезпеченням високих показників якості та продуктивності. Це дозволить виготовляти конкурентоздатну промислову продукцію для внутрішнього й зарубіжного використання.

Список використаних джерел:

1. Беззубенко, Н. К. Повышение производительности алмазного шлифования / Н. К. Беззубенко // *Авиационно-космическая техника и технология* : тр. Гос. аэрокосмического ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2000. – Вып. 14. – С. 296–302.
2. Беззубенко, Н. К. К вопросу выбора режима работы режущих зерен при алмазно-искровом шлифовании / Н. К. Беззубенко // *Резание и инструмент*. – 1979. – Вып. 22. – С. 3–6.
3. Захаренко, И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И. П. Захаренко. – К. : Наукова думка, 1981. – 300 с.
4. Иванов, Н. П. Интенсивность электроэрозии алмазных кругов при использовании источника постоянного тока / Н. П. Иванов, Л. Е. Кобзарь // *Резание и инструмент*. – 1984. – Вып. 31. – С. 26–31.
5. Интегрированные процессы обработки материалов резанием : учебник / А. И. Грабченко [и др.]. – Сумы : Университетская книга, 2017. – 451 с.
6. Лавриненко, В. И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и

Машинобудування і зварювальне виробництво

физико-технической обработки : монография / В. И. Лавриненко, В. Ю. Солод. – Каменское : ДГТУ, 2016. – 529 с.

7. Новиков, Г. В. Глубинное алмазное электроэрозионное шлифование / Г. В. Новиков // Авиационно-космическая техника и технология : тр. Гос. аэрокосмического ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2000. – Вып. 14. – С. 303–309.

8. Новиков, Г. В. Обоснование и выбор оптимального электрического режима электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках / Г. В. Новиков // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільського господарства. – Харків, 2005. – Вип. 33. – С. 180–185.

9. Новиков, Г. В. Прогрессивные технологии алмазно-абразивной обработки природных алмазов в бриллианты / Г. В. Новиков // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Технологии в машиностроении. – Харьков, 2011. – № 40. – С. 72–80.

10. Новіков, Ф. В. Сучасні екологічно безпечні технології виробництва : монографія / Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх, Г. В. Новіков. – Дніпро : ЛПРА, 2017. – 372 с.

11. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: навчальний посібник / за ред. А. І. Грабченко. – Харків : ХДПУ, 1999. – 436 с.

Новиков Ф. В., Новиков Г. В., Дитиненко С. А., Андилахай А. А.

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

В работе показано, что наиболее эффективной технологией алмазного шлифования по улучшению экологии производства является шлифование алмазными кругами на высокопрочных металлических связках с применением электроэрозионной правки для восстановления режущих свойств и повышения качества и производительности обработки. Этот метод правки можно осуществлять с применением обычной технической воды, он не оказывает вредного воздействия на здоровье работника и используемое оборудование. Показано, что при определенных условиях объем металлической связки, удаляемой в результате действия электрических разрядов, может быть больше объема металлической связки, удаляемой в процессе ее электрохимического растворения. Поэтому в этих условиях отпадает необходимость в электрохимическом растворении металлической связки, поскольку ее можно удалить за счет присутствия в процессе правки электрических разрядов. Поэтому в работе разработаны практические рекомендации по созданию на основе применения электроэрозионной правки экологически чистых технологий шлифования алмазно-абразивными инструментами (алмазными кругами) на металлических связках изделий, изготовленных из различных металлических и неметаллических труднообрабатываемых материалов, включая шлифование изделий из твердых сплавов и с наплавленными высокопрочными материалами, разрезание высокотвердых пород камня, нарезание граней на поверхностях изделий из хрусталя, огранка природных алмазов в бриллианты, обработку изделий из труднообрабатываемых керамик и ферритов и др. Показано, что в результате практического применения этих технологий появляется возможность осуществлять экологически чистую механическую обработку шлифованием на промышленных предприятиях Украины изделий из материалов высокой твердости с обеспечением высоких показателей качества и производительности.

Ключевые слова: экология производства, здоровье работника, обработка шлифованием, алмазный круг на металлической связке, электроэрозионная правка круга, электрохимическое растворение.

Novikov F. V., Novikov G. V., Ditinenko S. O., Andilakhay O. O.

REGIME OPTIMIZE JUSTIFICATION OF CONDITIONS FOR IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PRODUCTION BY APPLYING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY DIAMOND GRINDING TECHNOLOGIES

The work shows that the most effective technology of diamond grinding to improve the ecology of production is grinding with diamond wheels on high-strength metal bonds with the use of their EDM to restore cutting properties and improve the quality and productivity of processing. This method of straightening can be carried out using normal industrial water, it does not have a harmful effect on the health of the worker and the equipment used. It is shown that, under certain conditions, the volume of the metal binder removed as a result of the action of electric discharges can be greater than the volume of the metal binder removed during its electrochemical dissolution. Therefore, under these conditions, there is no need for the electrochemical dissolution of the metal binder, since it can be removed due to the presence of electric discharges during the straightening process. Therefore, in the work, practical recommendations have been developed for the creation, based on the use of electro-erosive dressing, of environmentally friendly technologies of grinding with diamond-abrasive tools (diamond wheels) on metal bonds of products made from various metal and nonmetallic hard-to-machine materials, including grinding of products from hard alloys and with high-strength weld materials, cutting of highly hard rocks, cutting edges on the surfaces of crystal products, cutting natural diamonds into diamonds, processing products from hard-to-machine ceramics and ferrites, etc. It is shown that as a result of the practical application of these technologies, it becomes possible to carry out environmentally friendly mechanical processing by grinding at industrial enterprises Products from materials of high hardness with high quality and productivity.

Keywords: production ecology, worker health, grinding processing, metal bond diamond wheel, electro-erosive circle dressing, electrochemical dissolution

Стаття надійшла 07.02.2021 р.

УДК 620.171.5

doi.org/10.31498/2522-9990242021249926

Ширяєв О. В., Буцукін В. В., Головачова І. В., Ширяєв І. А., Грицюк А. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУГ МЕТОДОМ ФОТОПРУЖНОСТІ

Виконано короткий порівняльний аналіз відомих теоретичних досліджень розподілу контактних напружень по поверхні двох тіл. На підставі проведеного аналізу зроблені висновки про відсутність експериментальних даних про розподіл контактних напружі. Одним з найбільш достовірних методів експериментального дослідження розподілу напружень в контакті пружних тіл є метод оптично-активних матеріалів. Метод фотопружності дозволяє отримати необхідні і достатні дані для визначення дотичних напружень. З картини смуг можна отримати значення максимальних дотичних напружень, а ізокліни дають направлення головних напружень. Методом різниці дотичних напружень визначаються вертикальні і горизонтальні нормальні напруги. Дослідження напружень в контакті тіла з скосами і тіла з прямолінійною твірною, що моделює площину, вироблялося методом фотопружності на установці поляризаційно-проекційної установки ППУ-5. В процесі експерименту випробувана методика поділу головних напружень методом різниці дотичних напружень і підтверджено достовірність отриманих