

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Агу Коллінз Агу



УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛМАЗНО-ІСКРОВОГО
ШЛІФУВАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ МІНІМАЛЬНОГО ЗМАЩУВАННЯ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки,
верстати й інструменти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2012

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Інтегровані технології машинобудування» ім. М. Ф. Семко в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Узунян Матвій Данилович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри «Інтегровані технології
машинобудування» ім. М. Ф. Семка

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фадєєв Валерій Андрійович,
ДП Харківський машинобудівний завод
«ФЕД», головний інженер

кандидат технічних наук, доцент
Краснощок Юрій Степанович,
Харківський національний технічний
Університет сільського господарства
ім. П. Василенка, доцент кафедри
«Технологія матеріалів»

Захист відбудеться «24» травня 2012 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «18» квітня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Пермяков О. А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема ефективної обробки твердих сплавів вирішується шляхом вишукування засобів, пов'язаних з необхідністю підтримки різальної здатності та забезпечення сталих умов шліфування протягом тривалого часу. Це досягається введенням додаткової енергії в зону різання у вигляді електричних імпульсів. Такий процес шліфування – алмазно-іскрове шліфування (АІШ) – представляє сполучення різання алмазними зернами з дією електричного струму в зоні потенційного контакту металеві зв'язки із твердим сплавом. Цей процес розроблено у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі «Інтегровані технології машинобудування» ім. М. Ф. Семка. Оскільки при АІШ практично виключено контакт зв'язки з оброблюваним матеріалом і відбувається видалення часток, що попадають у простір між зернами, то різальний рельєф не засалюється та з'являється можливість для повнішої реалізації унікальних різальних властивостей алмазних зерен при впровадженні в матеріал, а виходить, і виявлення більш високої потенційної різальної здатності алмазних кругів.

Як відомо, у процесі АІШ застосовують різні мастильно-охолоджувальні технологічні засоби (МОТЗ); найчастіше використовують 3 %-ий содовий розчин, емульсії й ін. Застосування МОТЗ струминним поливом має цілий ряд серйозних недоліків, відзначених у технічній літературі. Останнім часом одержує поширення, й у ряді випадків знаходить застосування, так звана техніка (технологія) мінімального змащування. Однак таку технологію, в основному, використовують при механічній обробці лезовим інструментом, а в процесах шліфування не застосовують. Тому в роботі проведено комплекс досліджень процесу шліфування твердих сплавів із застосуванням технології мінімального змащування, який показав ефективність і цілий ряд переваг такої технології. При цьому, як технологічне середовище, у вигляді сухого змащування використовують твердий мастильний матеріал (ТММ).

Технологія мінімального змащування безсумнівно є альтернативою застосуванню МОТЗ, вона при шліфуванні раніше не розглядалася. Її переваги, зручності застосування, економічність, екологічні аспекти й ін. дозволяють вважати цю технологію досить перспективною. Ефективність технології мінімального змащування особливо добре проявляється в процесі алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів. У якості ТММ запропоновано мастильні матеріали різної модифікації (вуглеводні та карбоксильні, отримано патент України); сухе змащування в розглянутому процесі є діелектричним середовищем, що сприяє виникненню й проявленню електричних розрядів. Реалізація можливостей застосування такої технології шліфування кругами на металевій зв'язці, фактично нової технології, представляється перспективною задачею.

Таким чином, тема цієї дисертаційної роботи, у якій уперше виконано комплексні дослідження процесу АІШ кругами на металевій зв'язці із застосуванням технології мінімального твердого змащування, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в рамках державних науково-технічних програм: д/б № М2231 «Розробка теоретичних основ 3D методології комп'ютерного моделювання оптимальних характеристик абразивно-алмазних інструментів», 2005–2007 (ДР № 0105U000577); д/б № М2235 «Розробка теоретичних основ 3D моделювання фізичних явищ у ресурсозберегальних процесах виготовлення й експлуатації алмазних інструментів», 2008–2011 (ДР № 0108U001447).

Мета та задачі дослідження. Ціль роботи – вирішення проблеми підвищення ефективності АІШ твердих сплавів за рахунок застосування технології мінімального змащування, встановлення фізичних закономірностей і особливостей взаємодії робочої поверхні алмазних кругів і оброблюваних твердих сплавів, пошук оптимальних умов, що забезпечують якісну обробку при найменшій сумарній технологічній собівартості.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовано такі задачі:

1. Розглянути особливості МОТЗ у процесі механічної обробки різанням, відзначити недоліки з позицій доцільності для різних процесів, економічності й екологічних аспектів; показати перевагу альтернативної технології із застосуванням мінімального сухого змащування.

2. Вивчити фізичні особливості процесу АІШ твердих сплавів за допомогою технології мінімального змащування, визначити енергоємність нового процесу, коефіцієнти шліфування, представити особливості зношування алмазних кругів.

3. Установити оптимальні значення частоти проходження імпульсів і енергії одиничних розрядів, при яких досягається найменша питома собівартість алмазно-іскрового шліфування в умовах застосування технології мінімального змащування.

4. Визначити працездатність алмазних кругів на металевій зв'язці, методами математичного планування експериментів оптимізувати умови АІШ за параметрами відносної витрати алмазів, продуктивності й питомій собівартості шліфування. рівень

5. Установити особливості формування залишкового напруженого стану у твердому сплаві, виявити рівні залишкових макронапружень при АІШ із МОТЗ поливом і із застосуванням технології мінімального змащування; у широкому діапазоні умов обробки дослідити шорсткість поверхні шліфування твердосплавних пластин.

6. Реалізувати можливість вартісної оцінки якості прошліфованих пластин на основі випробувань їх на стійкість при точінні, оцінюючи довжину шляху різання до прийнятого критерію затуплення, що виражає підходи, які відповідають інжинірингу якості й дозволяє оцінити його у вартісному вираженні.

Об'єкт дослідження – процес алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів із застосуванням технології мінімального змащування у вигляді твердого мастильного матеріалу.

Предмет дослідження – фізико-механічні особливості взаємодії різальної поверхні з оброблюваним матеріалом, оптимізація умов АІШ із застосуванням

технології мінімального змащування, аналіз якості обробленої поверхні – шорсткості й залишкових макронапружень, і їхній взаємозв'язок зі зносостійкістю шліфованих інструментів, визначення мінімальної сумарної технологічної собівартості обробки, що дозволяє зробити вартісну оцінку якості.

Методи дослідження. Робота виконана на основі досліджень процесу алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів із застосуванням розробленої й реалізованої технології мінімального змащування; у якості мастила використано суміш вуглеводневих складових – стеаринової й карбоксильної кислот. У роботі використано положення теорії різання матеріалів, шліфування, технології машинобудування, особливостей фізико-механічної й фізико-хімічної взаємодії, планування експериментів. Розрахунки виконувалися, більшість графічних залежностей представлялися із застосуванням ЕОМ. Експериментальні дослідження проводилися на спеціальних установках, що реалізують процес, за допомогою спеціальних динамометрів, установок для шліфування за пружною схемою; експерименти виконувалися на базі модернізованого універсально-заточувального верстата, який дозволяє здійснювати процес алмазно-іскрового шліфування, а також плоскошліфувального й токарного верстатів; при цьому застосовувався спеціальний генератор імпульсів струму. Досліджувалися фізичні й технологічні параметри процесу шліфування із застосуванням ТММ, особливості взаємодії різальної поверхні алмазних кругів з оброблюваним матеріалом із застосуванням сучасних приладів, апаратури й методик, використалися мікроскопи порівняння, електронні сканувальні, спеціальні силовимірювальні пристрої, профілограф-профілометр, прилади рентгеноструктурного аналізу, дифрактометр і ін.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Виявлено оптимальний варіант діелектричного середовища ТММ із різних компонентів вуглеводневих складових; показано, що суміш стеаринової й себацинової кислот у рівних частинах забезпечує більшу продуктивність, менші значення відносно витрати алмазів і питомої собівартості шліфування в порівнянні з АПШ струминним поливом МОТЗ.

2. Визначено оптимальні значення частоти проходження імпульсів ($f = 66$ кГц) і енергії одиничних розрядів ($W = 15,2 \cdot 10^{-4}$ Дж), що забезпечують найменшу питому собівартість алмазно-іскрового шліфування із застосуванням технології мінімального змащування.

3. Показано, що значення коефіцієнта шліфування при АПШ твердих сплавів із ТММ є меншим, ніж при шліфуванні із МОТЗ поливом, а, виходить, і потенційна напруженість процесу обробки є меншою.

4. Установлено, що при АПШ із МОТЗ у порівнянні з обробкою твердого сплаву, а також твердого сплаву спільно зі сталлю із МОТЗ поливом питома робота різання є меншою, особливо при підвищених нормальних тисках і швидкостях шліфування.

5. Вивчено стан поверхневого шару твердого сплаву при шліфуванні із ТММ; показано, що в поверхневому шарі формуються стискальні залишкові макронапруження такого ж рівня як і при шліфуванні із МОТЗ поливом в однакових режимних умовах обробки.

6. Зроблено порівняльну вартісну оцінку якості інструмента після АПШ із ТММ і після МОТЗ поливом з урахуванням стійкості шліфованих твердосплавних пластин, що оцінювалася по довжині шляху різання; показано, що менша сумарна технологічна собівартість обробки забезпечується при шліфуванні із застосуванням ТММ.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в тому, що вперше показано й реалізовано можливості застосування нової технології алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів без МОТЗ поливом, а за допомогою мінімального твердого сухого змащування на основі вуглеводневих середовищ. При цьому показано, що АПШ зі зворотною полярністю забезпечує розвиненість різального рельєфу й практично виключає засалювання робочої поверхні алмазного круга; крім того представляється можливим забезпечити застосування алмазних кругів на будь-яких струмопровідних зв'язках. Практичне значення має показана й реалізована можливість оцінки якості обробки не тільки за допомогою залишкових напружень і шорсткості поверхні, але й установленого взаємозв'язку названих характеристик якості та зносостійкості різальних інструментів, що дозволяє визначити загальну сумарну технологічну собівартість обробки, тобто зробити оцінку якості у вартісному вираженні.

Результати розробок використовуються в навчальному процесі кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М. Ф. Семка.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в тому, що після проведення експериментальних досліджень уперше встановлена можливість ефективної обробки твердого сплаву шліфуванням по технології мінімального змащування, що є альтернативою МОТЗ поливом; для обґрунтування цього вивчено фізичні особливості АПШ із цим твердим мастилом, визначено коефіцієнти шліфування й енергоємність процесу, виявлено особливості зношування алмазних кругів, досліджена їхня працездатність; сформульовано положення про можливий взаємозв'язок зносостійкості шліфованих пластин з макронапруженнями й умовами обробки. Постановка задачі досліджень зроблена разом з керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертації доповідалися на міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології в машинобудуванні» (Харків–Рибаче, 2010) і на міжнародному науково-технічному семінарі Інтерпартнер-2010 «Високі технології: тенденції розвитку» (Харків–НТУ «ХП»), на XIX міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я» (Харків-2011, НТУ «ХП»).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні наукового семінару кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М. Ф. Семка НТУ «ХП».

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано три наукові праці в професійних виданнях, рекомендованих ВАК України; отримано патент України на корисну модель.

Структура дисертації. Дисертація складається із введення, чотирьох розділів, загальних висновків і практичних рекомендацій, 39 ілюстрацій по тексту, 10 ілюстрацій на 10 сторінках, 10 таблиць по тексту, 81 використаного літературного джерела на 7 сторінках, списку використаних джерел та 2 додатків на 30 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 177 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У введенні обґрунтовано актуальність теми та практичне значення досліджень, сформульовано наукову проблему, основні наукові положення, які виносяться на захист, наведено й аналізуються питання, які вирішуються в дисертації й становлять наукову новизну, дано загальну характеристику дисертаційної роботи.

У першому розділі розглядаються тенденції та способи розвитку й удосконалювання процесу шліфування твердих сплавів: показано переваги алмазно-іскрового шліфування перед іншими способами обробки.

Аналізуються можливості й способи подачі МОН струминним поливом у зону різання при механічній обробці, відзначаються недоліки застосування рідких середовищ, що пов'язано як із чисто технічними, так і екологічними й економічними аспектами. Показано можливості й перспективи альтернативних способів застосування змащувальних засобів у вигляді сухих відносно твердих мастил. Аналізуються переваги технології мінімального змащування при АШ твердих сплавів; приводиться обґрунтування складу мастильного середовища на основі компонентів, що сплавляються (стеаринова й себацінова кислоти).

Описуються загальні умови проведення досліджень, застосовуване встаткування, прилади, інструменти; обґрунтовуються критерії оцінки характеру взаємодії різальної поверхні алмазних кругів з оброблюваним матеріалом, а також їхня працездатність.

У другому розділі визначається й обґрунтовується склад суміші твердого мастильного матеріалу, встановлюються оптимальні електричні параметри алмазно-іскрового шліфування; визначаються взаємозв'язки режимів різання й характеристик кругів з електричними параметрами в процесі АШ; описуються методи, установки й пристосування, що забезпечують реалізацію процесу дослідження. Виявляються фізичні особливості процесу шліфування твердих сплавів із застосуванням нової технології мінімального змащування, аналізується вплив умов обробки на коефіцієнти шліфування, енергоємність процесу, розглядаються характерні риси зношування алмазних зерен і різальної поверхні алмазних кругів.

Для вибору оптимального варіанта ТММ із різних компонентів було використано стеаринову кислоту (стеарин), себацінову кислоту, що має більшу, ніж стеарин температуру краплеутворення ($T = 134\text{ }^{\circ}\text{C}$) і їхня суміш у

порівнянні із традиційними МОТЗ струминним поливом, що представляють 3 %-ий содовий розчин води.

Експерименти проводилися в однакових режимних умовах АІШ кругом 12А2-45°АС6-100/80 М1-01-4 при шліфуванні твердосплавних пластин Т15К6 перерізом 18×16×6.

Порівняльна оцінка результатів аналізу провадилася за критеріями продуктивності (Q , мм³/мин), відносної витрати алмазів (q , мг/г), питомої собівартості ($C_{ш}$, коп/см³) й представлена в табл. 1.

На підставі аналізу результатів експериментів з різними діелектричними середовищами встановлено, що використання суміші рівних частин стеарину й себацінової кислоти можна вважати найбільш доцільним, тому що при цьому забезпечуються при більшій продуктивності порівняно менші значення питомої собівартості й відносної витрати алмазів. Тому особливості взаємодії алмазних кругів з оброблюваним твердим сплавом при АІШ вивчалися з мінімально подаваного в зону різання сухого мастила виявленого складу.

Таблиця 1

**Значення показників працездатності алмазних кругів
при різних діелектричних середовищах**

Діелектричне середовище	Продуктивність Q , мм ³ /мин	Відносна витрата алмазів q , мг/г	Питома собівартість $C_{ш}$, коп/см ³
МОТЗ, струминний полив	549,8	1,76	6,92
Стеарин	567,4	1,63	6,41
Себаціновою кислота	525,7	1,87	7,63
Суміш рівних частин стеарину й себацінової кислоти	638,3	1,32	6,04

Пропонований до застосування ТММ є екологічно безпечним засобом. У його склад не входять традиційні для більшості МОТЗ протизадирно-протизношувальні присадки, що містять сірку, хлор і фосфор, які в результаті термомеханічної деструкції розкладаються в зоні різання з виділенням у навколишнє середовище токсичних похідних речовин, які є в зазначених присадках.

Вибір енергії іскрових розрядів для АІШ твердого сплаву при застосуванні встановленого складу діелектричного середовища із твердого мастильного матеріалу здійснювався з умови забезпечення мінімальної питомої собівартості шліфування. При цьому фіксувалися також продуктивність і відносна витрата алмазів. Електричні параметри варіювалися в широких межах шляхом зміни частоти імпульсів f з підрахунком часу дії одиничного імпульсу й енергії розряду.

Результати підрахунку відзначених параметрів і показники працездатності кругів представлено в табл. 2.

При цьому середні значення сили струму й напруги становили відповідно $I_{\text{сер}} = 5 \text{ А}$, $U_{\text{сер}} = 40 \text{ В}$; у якості оптимального було прийняте значення шпаруватості $n_{\text{шпар}} = 2$.

Залежність питомої собівартості шліфування твердого сплаву від частоти імпульсів і відповідно енергії, що вводиться, має екстремальний характер. Він пов'язаний з різним впливом енергії одиничних розрядів на продуктивність процесу й зношування алмазного круга. У діапазоні частот від 22 до 66 кГц зношування зменшується в 1,6 рази, а продуктивність – в 1,1 рази.

Таблиця 2

**Значення показників працездатності алмазних кругів
для різних електричних параметрів**

Частота проходження імпульсів f , кГц	Час дії одиничного імпульсу τ , мкс	Енергія одиничного розряду W , Дж $\cdot 10^{-4}$	Продуктивність шліфування Q , мм ³ /хв	Відносна витрата алмазів q , мг/г	Собівартість шліфування $C_{\text{ш}}$, коп/см ³
22	22,7	45,4	723,4	2,27	6,84
44	11,4	22,8	670,3	1,86	6,23
66	7,6	15,2	645,6	1,45	5,83
88	5,7	11,4	638,7	1,32	6,04

Більш інтенсивне зменшення зношування в порівнянні із продуктивністю приводить до зниження питомої собівартості шліфування до частоти 66 кГц. Подальше підвищення частоти імпульсів понад 66 кГц ($W < 15,2 \cdot 10^{-4}$ Дж) викликає переважне зменшення продуктивності в порівнянні зі зношуванням круга. У результаті отриманого співвідношення показників процесу відзначається підвищення питомої собівартості шліфування.

Таким чином, у результаті аналізу змінних електричних параметрів алмазного електроерозійного шліфування обґрунтовано вибір і визначено його електричні характеристики ($f = 66 \text{ кГц}$, $W = 15,2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$, $n_{\text{шпар}} = 2$, $\tau = 7,6 \text{ мкс}$), які забезпечують високу працездатність алмазних кругів у процесі АШ із застосуванням ТММ при найменших витратах на його здійснення.

Порівняльні особливості фізико-механічної взаємодії різальної поверхні алмазних кругів з оброблюваним матеріалом при АШ поливом МОТЗ і із

застосуванням ТММ за технологією мінімального змащування досліджувалися за допомогою коефіцієнтів шліфування ($K_{ш}$) й енергоємності процесу (B_M).

Коефіцієнт шліфування оцінювався як відношення тангенціальної сили P_z до радіальної P_y , а питома енергоємність визначалася енергією (роботою), витраченої на знімання маси твердого сплаву в одиницю часу. Робота шліфування підраховувався як добуток сили P_z й швидкості різання V ; сила різання вимірялася за допомогою спеціального динамометра за пружною схемою шліфування.

Вивчався вплив різних факторів, а значить і різних умов контактної взаємодії робочої поверхні алмазного круга з поверхнею твердого тіла, що шліфується.

Вплив нормального тиску на $K_{ш}$ представлено на рис. 1.

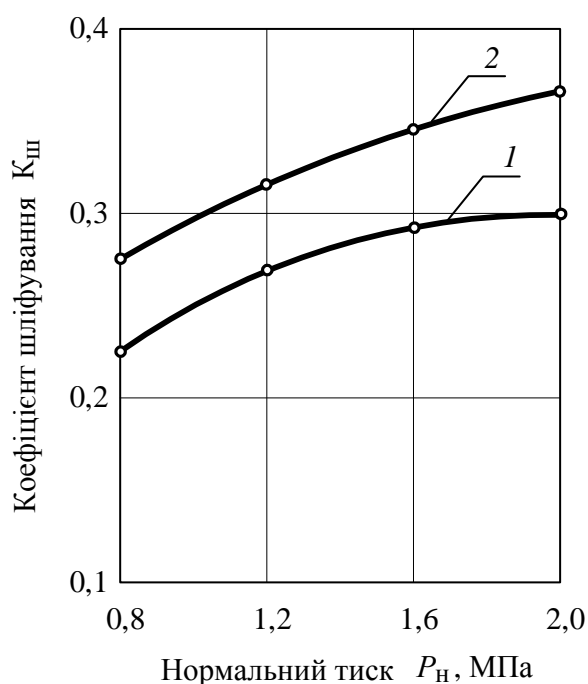


Рис. 1. Вплив нормального тиску на коефіцієнт шліфування:

1 – сухе мастило; 2 – MOT3 поливом.

Умови шліфування: $V = 25$ м/с; круг 12A2-45°AC6-100/80 M1-01-4;
оброблюваний матеріал Т15К6

Збільшення нормального тиску викликає зростання коефіцієнтів шліфування для обох способів шліфування. Активний різальний рельєф алмазного круга при АПШ забезпечує добрий рівень проникнення мікрокромки алмазних зерен в оброблювану поверхню твердого сплаву, що сприяє випереджальному росту тангенціальної сили; це можна вважати головним фактором, що визначає характер залежностей.

Крім того, із графіків видно, що для способу шліфування із ТММ значення коефіцієнтів шліфування є меншими у всьому діапазоні збільшення нормальних тисків. Це пояснюється меншим внеском частки коефіцієнта тертя

між металевою зв'язкою алмазного круга й твердим сплавом у загальне значення коефіцієнта шліфування.

Залежність K_{III} від швидкості шліфування для різних технологічних середовищ у зоні різання характеризується його практично незначним збільшенням; при цьому значення K_{III} у всьому діапазоні зміни V від 15 до 35 м/сек є помітно меншим при шліфуванні із ТММ.

Зміна зернистості в діапазоні від 50/40 до 160/125 незначно впливає на зміну K_{III} на відміну від звичайного алмазного шліфування; при цьому для процесу із ТММ його значення є трохи нижчими.

Несуттєвий вплив зернистості алмазних кругів при АІШ твердих сплавів можна пояснити як розвиненістю різального рельєфу, так і утворенням мікрокромок на поверхні більших і менш міцних зерен, що в якійсь мірі нівелює кількісний фактор (кількість мікрокромок) дрібнозернистих кругів.

Вплив концентрації алмазів на K_{III} помітніший, ніж вплив зернистості, але якихось особливостей не виявляє; загальне пояснення можна звести до традиційного кількісного фактора, незначним збільшенням сил різання й сумарного перерізу зрізу.

Крім викладених результатів експериментів, що пояснюють характер залежностей, можна зробити загальний висновок, що значення K_{III} при АІШ твердих сплавів із сухим змащуванням є меншим, ніж при звичайному шліфуванні із МОТЗ поливом, а значить й напруженість процесу шліфування є меншою.

Результати експериментів з впливу нормального тиску на енергоємність процесу АІШ представлено в табл. 3. У всьому діапазоні зміни нормальних тисків значення B_M є меншим для ТММ у порівнянні із МОТЗ поливом. Загальна тенденція незначної зміни показника енергоємності при збільшенні нормального тиску пояснюється відповідно пропорційним ростом продуктивності шліфування.

Таблиця 3

Вплив нормального тиску на питому енергоємність

B_M , Дж/г·10³ при АІШ Т15К6

Діелектричне середовище	Нормальний тиск P_H , МПа			
	0,8	1,2	1,6	2,0
МОТЗ, струминний полив	5,5	5,4	5,2	5,3
ТММ	4,6	4,4	4,5	4,7

Зміна швидкості різання характеризується більш вираженим впливом її на B_M , ніж нормальний тиск (рис. 2). Зі збільшенням швидкості B_M збільшується як при шліфуванні із МОТЗ поливом, так і при використанні ТММ; при цьому інтенсивність збільшення питомої енергоємності при шліфуванні із введенням

у зону різання ТММ є значно меншою, що можна пояснити активнішим самозагостренням різального рельєфу алмазного круга й відповідно більшим зніманням матеріалу.

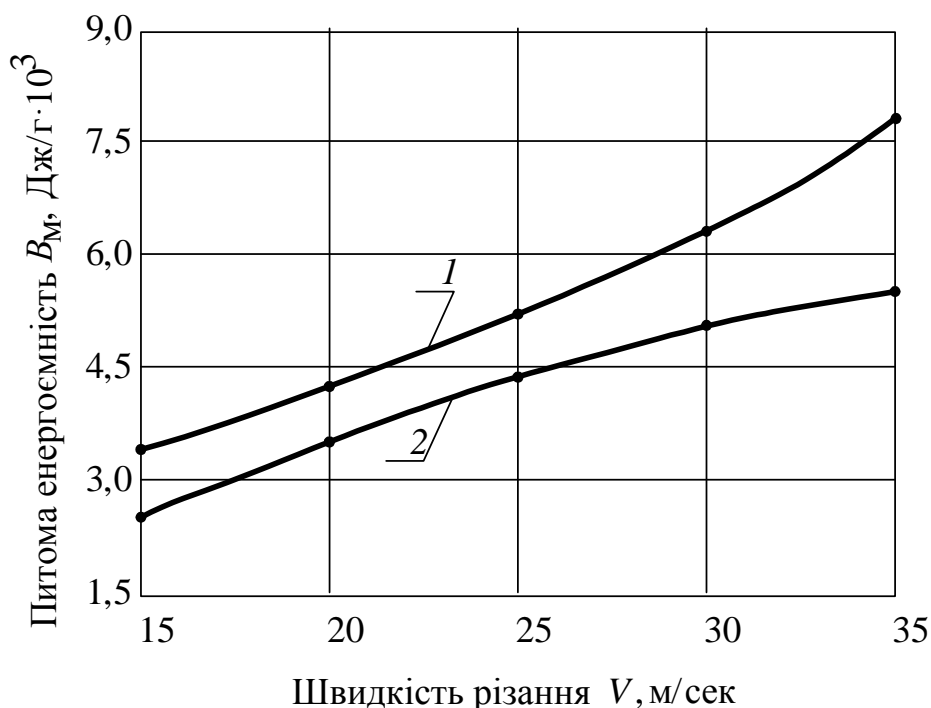


Рис. 2. Вплив швидкості різання на енергоємність при АШ:

1 – МОТЗ струминним поливом; 2 – ТММ.

Умови шліфування: $P_H = 1,2$ МПа; круг 12A2-45°AC6-100/80 M1-01-4;
оброблюваний матеріал Т15К6

Можливості використання ТММ найефективніше проявляються при АШ твердого сплаву разом зі сталеву державкою, тому що при цьому з одного боку повніше будуть активуватися процеси, пов'язані з утворенням нових поверхонь (ефект Ребиндера), а з іншого боку – адсорбційно пов'язана з оброблюваною поверхнею гранична плівка надійно екранує третю поверхню.

Остання обставина нівелюватиме дифузійну взаємодію поверхні алмазних зерен зі сталлю у зв'язку з відомими положеннями про спорідненість матеріалів, які контактують, і перепаді концентрацій вуглецю в них, що викликає підвищене зношування кругів.

Виявлена перевага шліфування твердих сплавів, у тому числі й композиції «твердий сплав–сталь» із застосування ТММ пояснюється специфічним механізмом впливу мастильного середовища на адсорбовані поверхні оброблюваних матеріалів. Високі локальні температури при АШ викликають деструкцію середовища, забезпечують дозований (без надлишку) постійний приплив (присутність) груп легкокорухомих атомів з карбоксильною складовою та вуглеводневих радикалів поверхнево-активного компонента в зоні різання.

Масове мікрорізання – дряпання при алмазному шліфуванні супроводжується сукупністю умов для прояву ефекту Ребиндера. Високі локальні напруги й швидкості впливу, циклічний характер навантаження, досить мале знімання матеріалу за один контакт (прохід) алмазного зерна, у результаті чого атоми активного середовища повинні здолати лише невеликий шлях до зони руйнування, до джерел випереджальної мікротріщини, що утворюється, забезпечуючи надійне змочування ювенільної поверхні, що оголюється, – все це сприяє фізичній і хімічній адсорбції, а також змащувальній дії середовища ТММ.

Слід зазначити, що відповідно до відомого критерію Гриффитса, при крихкому руйнуванні міцність пропорційна кореню квадратному з величини поверхневої енергії. Відповідно до цього, зниженню міцності в кілька разів повинне відповідати зниження вільної поверхневої енергії приблизно на порядок. Тому, якщо ТММ у зв'язку з ініціюванням адсорбційних ефектів викликає зниження вільної поверхневої енергії, то, природно, повинна зменшуватися крихка міцність твердих сплавів і робота диспергування. Саме тому при АІШ із ТММ у порівнянні із МОТЗ поливом мають місце нижчі значення питомої роботи різання, особливо при підвищених нормальних тисках і швидкостях шліфування.

Таким чином, можна вважати, що застосування твердого мастильного матеріалу, що представляє суміш рівних частин стеаринової й себацінової кислот (ТММ), у порівнянні із МОТЗ поливом при використанні в умовах АІШ є досить перспективним напрямком, що відповідає сучасним тенденціям розвитку технології мінімального змащування.

У дисертації представлено результати досліджень стану різальної поверхні алмазних кругів і зерен, фрагменти зношування, які вивчалися за допомогою електронного сканувального мікроскопа Jeol-JSM-50 після АІШ із застосуванням ТММ.

Аналіз мікрофотографій різальної поверхні алмазних кругів після електронно-мікроскопічних досліджень дозволяє зробити висновок, що різні ділянки рельєфу й алмазних зерен підвладні різним видам діяння й зношування: різальна поверхня розвинена; різновисотність алмазних зерен забезпечується; виявляються крихкі руйнування, сколювання окремих елементів, утомний характер зношування; можна сказати, що різальний рельєф алмазного круга при АІШ із ТММ не виявляє системного характеру зношування.

У третьому розділі приводяться результати досліджень працездатності алмазних кругів, описується методика проведення експериментів, пристосування й установки, схема шліфування; представлено результати досліджень з оптимізації методами математичного планування експериментів критеріїв працездатності – продуктивності процесу, відносної витрати алмазів, питомої собівартості шліфування. Перевага була віддана плану, близькому до Д-оптимального й позначуваного як B_4 для чотирьох факторів: нормальний тиск P , швидкість різання V , зернистість Z і концентрація K .

Після реалізації матриці планування, програми розрахунку на ЕОМ і перетворення рівнянь регресії будувалися двовимірні перерізи поверхні відгуку й відповідні однофакторні залежності.

Визначено оптимальні умови алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з використанням ТММ за технологією мінімального змащування, що забезпечують найменшу питому собівартість обробки: $P_H = 1,6$ МПа, $V = 30$ м/с, $Z = 100/80$, $K = 4$ (100 %).

Виявлено закономірності й притаманні особливості процесу – це вплив швидкості різання, зернистості й концентрації на показники працездатності алмазних кругів. Швидкість різання незначно впливає на самозагострення алмазних кругів, тому що їхня висока різальна здатність за визначенням забезпечується впливом електричних розрядів на зв'язку круга; тому зменшення питомої собівартості шліфування зі збільшенням швидкості є незначним в порівнянні із впливом нормального тиску. Залежність показників працездатності від характеристик алмазних кругів свідчить про складний характер взаємовпливу зернистості й концентрації кругів, які визначають умови контактної взаємодії робочої поверхні з оброблюваним матеріалом. Зі збільшенням зернистості (на відміну від звичайних процесів шліфування) продуктивність процесу трохи знижується. Однак екстремальний характер зміни відносної витрати алмазів вносить корективи у встановлення оптимального значення зернистості алмазних кругів. Збільшення концентрації незначно впливає на підвищення продуктивності, тому що різальна здатність алмазних кругів великих концентрацій відновлюється менш інтенсивно при впливі розрядів на рельєф круга; екстремальний характер залежності питомої собівартості шліфування від концентрації викликано відповідним збільшенням відносної витрати алмазів.

У четвертому розділі приводяться результати досліджень якості обробленої поверхні – шорсткості й залишкових напруг; аналізуються результати розрахунку й оцінки інтегрального показника – технологічної собівартості обробки з урахуванням зношування інструментів по довжині шляху різання до певного критерію затуплення. Показано можливість вартісної оцінки якості, що відповідає підходам, властивим інжинірингу якості.

Вивчено вплив різних факторів – P , V , Z , K на критерій шорсткості Ra при різних умовах АІШ із використанням МОТЗ поливом і із ТММ.

Порівняльні дослідження показали, що шліфування за технологією мінімального змащування забезпечує поліпшення якості обробленої поверхні – зниження шорсткості по Ra при оцінці впливу різних факторів становить не менш 25 %.

Вивчено стан поверхневого шару твердого сплаву після АІШ із МОТЗ поливом і із застосуванням технології мінімального змащування. Зразки піддавалися рентгенівському дослідженню за допомогою дифрактометра ДРОН 2.0; аналіз напруженого стану проводився за допомогою $\sin^2 \psi$ -методу.

Виявлені залишкові макронапруги в однакових режимних умовах обробки ($P_H = 1,2$ МПа, $V = 25$ м/с, $Z = 100/80$, $K = 4$) при різних способах шліфування є практично однаковими.

Виявлені деформації становлять $\varepsilon = 2,6 \cdot 10^{-3}$, а залишкові макронапруги носять стискаючий характер і становлять $\sigma = -1,6$ ГПа, що свідчить про превалювання силового фактора при формуванні залишкових напруг. Отримані результати, на нашу думку, можна оцінити як такі, що мають істотне практичне значення. Суть його полягає в тому, що при АШ із застосуванням твердого мастильного матеріалу, незважаючи на відсутність МОТЗ поливом як охолоджувального фактора, тепловий фактор не превалює при шліфуванні й формуванні залишкового напруженого стану.

Зроблено вартісну оцінку якості інструмента при шліфуванні різними способами (рис. 3).

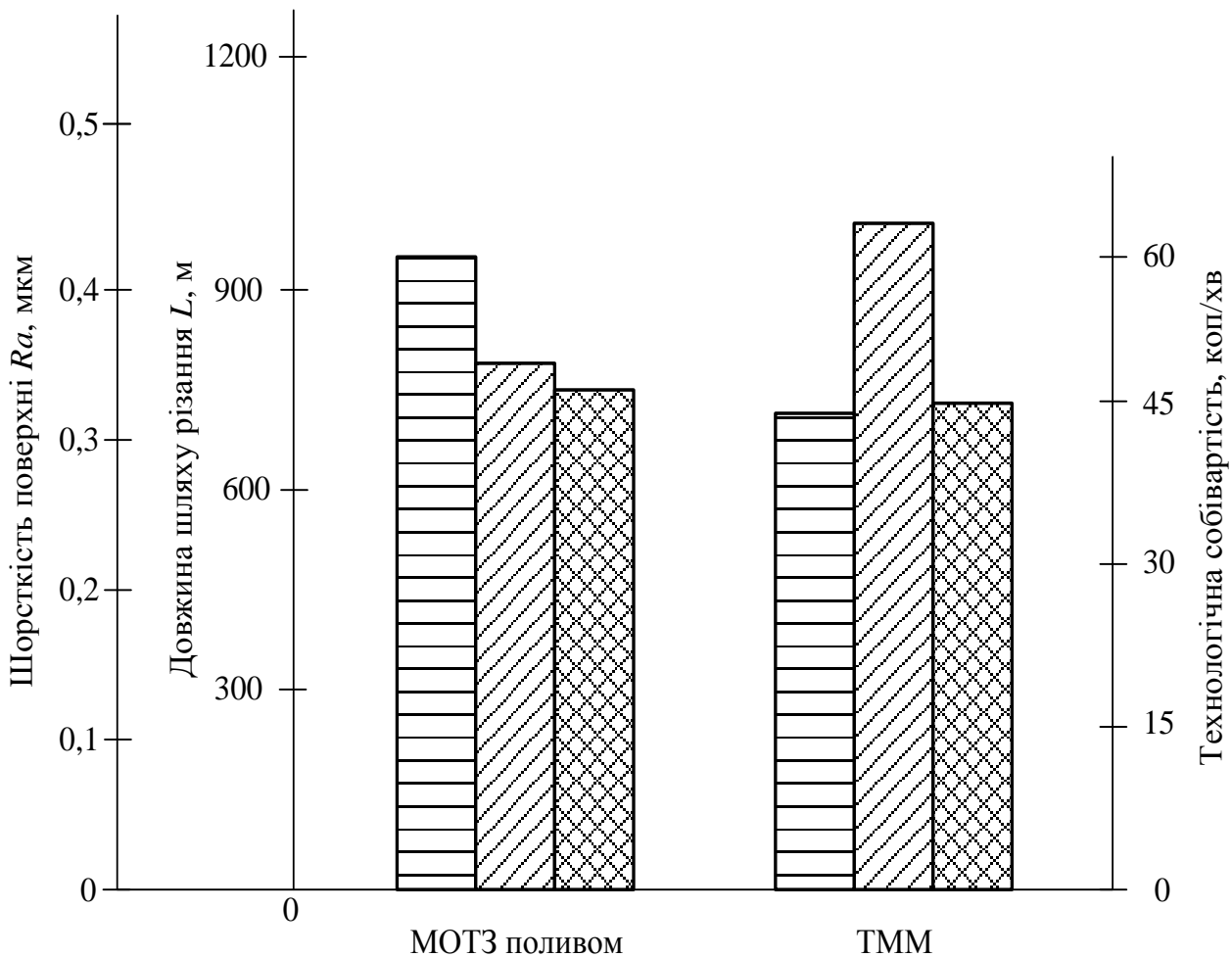


Рис. 3. Порівняльна діаграма значень шорсткості поверхні, довжини шляху різання й сумарної технологічної собівартості:
 круг 12А2-45° АС6 100/80 М1-01-4; оброблюваний твердий сплав Т15К6

□ — Ra , ▨ — L , ▩ — St ,

При цьому інтегральним показником якості є сумарна технологічна собівартість (C_T), що включає не тільки собівартість власне процесу шліфування ($C_{ш}$), але й ураховує стійкість заточених інструментів; при цьому враховується довжина шляху різання до певного критерію затуплення. Стійкість визначалася при точінні загартованої сталі ХВГ (55–58 HRC при таких режимах різання: швидкість різання $V = 70$ м/хв; подача $s = 0,15$ мм/об, глибина різання $t = 0,5$ мм; геометричні параметри різальної частини становили: $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; критерій затуплення по задній поверхні $h_3 = 0,4$ мм).

На рис. 3 наведено порівняльну діаграму значень шорсткості поверхні, довжини шляху різання й сумарної технологічної собівартості при різних способах шліфування.

Аналіз представлених результатів показує, що на довжину шляху різання поряд з іншими факторами впливає шорсткість задніх поверхонь інструмента, що забезпечує більшу його зносостійкість. Наслідком впливу відзначених факторів є менша сумарна технологічна собівартість обробки.

Таким чином, вартісна оцінка якості, що характеризує надійність заточених інструментів, є досить важливим фактором згідно зі сучасними тенденціями, що відповідають інжинірингу якості.

ВИСНОВКИ

1. Застосування МОТЗ струминним поливом при механічній обробці, особливо при шліфуванні, має цілий ряд серйозних недоліків, відзначених у технічній літературі; великого значення набувають і екологічні аспекти її використання.

2. Останнім часом одержує поширення, так звана техніка (технологія) мінімального змащування, яку можна вважати альтернативою використанню МОТЗ на операціях механічної обробки різанням; разом з тим застосування цієї технології при шліфуванні не розглядається й уважається неефективним.

3. Розробка умов і реалізація можливостей застосування технології мінімального змащування при шліфуванні твердих сплавів, особливо із введенням додаткової енергії в зону різання (АШ) та використанням твердого мастильного матеріалу (ТММ), є досить перспективними.

4. Виявлено оптимальний склад ТММ, що представляє суміш рівних частин стеарину та себацінової кислоти (патент України), що є екологічно безпечним і забезпечує вищі показники процесу АШ – продуктивності, відносної витрати алмазів і питомої собівартості шліфування – у порівнянні з іншими ТММ і МОТЗ струминним поливом.

5. Виявлено раціональні електричні параметри процесу АШ із застосуванням технології мінімального змащування, що забезпечують високу працездатність алмазних кругів при найменшій питомій собівартості – частота

імпульсів $f = 66$ кГц, енергія одиничних розрядів $W = 15,2 \cdot 10^{-4}$ Дж, шпаруватість $n_{\text{шпар}} = 2$, час одиничного імпульсу $\tau = 7,6$ мкс.

6. Вивчення й аналіз особливостей взаємодії різальної поверхні алмазних кругів з оброблюваним твердим сплавом у різних умовах із застосуванням технології мінімального змащування та МОТЗ поливом показали, що значення коефіцієнтів шліфування ($K_{\text{ш}}$) є меншими за пропоновану технологією, а значить меншою є й напруженість процесу АІШ.

7. Виявлено менші значення енергоємності процесу АІШ із застосуванням твердого мастильного матеріалу в порівнянні з використанням МОТЗ поливом, що пояснюється специфічним механізмом впливу мастильного середовища на адсорбовані поверхні матеріалу, особливо при шліфуванні композиції «твердий сплав–сталь»; ініціювання адсорбційних ефектів, викликаних компонентами, що є в складі ТММ, сприяє зниженню вільної поверхневої енергії, крихкої міцності та роботи диспергування.

8. Електронно-мікроскопічні дослідження стану різальної поверхні кругів і алмазних зерен свідчать про розвиненість рельєфу, збереження різновисотності зерен при використанні ТММ як технологічного середовища; алмазні зерна зношуються сколюванням окремих елементів, крихким зламуванням в мікрооб'ємах з утворенням нових гострих кромки, утомний характер зношування також має місце.

9. Виявлено закономірності й притаманні особливості обробки твердих сплавів. Збільшення швидкості різання в меншій мірі впливає на зниження питомої собівартості шліфування, ніж нормальний тиск; у процесі АІШ із застосуванням технології мінімального змащування швидкість різання незначно впливає на самозаточуваність алмазних кругів, тому що їхня висока різальна здатність забезпечується впливом електричних розрядів на металеву зв'язку круга.

10. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку й розрахункові однофакторні залежності, отримані за допомогою планування експериментів, дозволили встановити оптимальні умови АІШ твердих сплавів з використанням твердого мастильного матеріалу за технологією мінімального змащування, що забезпечують найменшу питому собівартість обробки: $P_{\text{н}} = 1,6$ МПа; $V = 30$ м/с; $Z = 100/80$, $K = 4$ (100 %).

11. Виявлено, що при різних умовах шліфування значення шорсткості обробленої поверхні по параметру Ra є меншим у середньому на 25 % при використанні застосовуваного мастильного середовища в порівнянні з обробкою МОТЗ поливом.

12. Дослідження залишкового напруженого стану обробленої поверхні твердого сплаву дозволило встановити, що при шліфуванні із застосуванням технології мінімального змащування, також як і при шліфуванні із МОТЗ поливом, у поверхневому шарі формуються залишкові макронапруження стискування ($\sigma = -1,6$ МПа) із превалюванням силового фактора (умови АІШ: $P = 1,2$ МПа, $V = 25$ м/с, $Z = 100/80$, $k = 4$); отже, тепловий фактор не робить

помітного впливу на рівень і характер макронапружень при шліфуванні із ТММ, незважаючи на відсутність як охолоджувального фактора МОТЗ поливом.

13. Розрахована сумарна технологічна собівартість обробки, що включає не тільки питому собівартість саме шліфування, але й ураховує стійкість заточених інструментів по довжині шляху різання при точінні, дозволяє зробити вартісну оцінку якості, тобто реалізувати підхід, що відповідає інжинірингу якості. Показано, що застосування технології мінімального змащування в порівнянні із МОТЗ поливом при АІШ забезпечує вищу зносостійкість інструментів при їхній експлуатації й відповідно – меншу сумарну технологічну собівартість.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Узунян М. Д. Обеспечение условий высококачественной обработки твердых сплавов путем стабилизации модальной высоты зерен режущего рельефа круга / М. Д. Узунян, А. В. Руднев, Агу Коллинз Агу // Резание и инструмент. – 1994. – Вып. 49. – С. 146–149.

Здобувач установив оптимальні умови шліфування твердих сплавів, що забезпечують розвиненість різального рельєфу круга.

2. Агу Коллинз Агу. Особенности алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с минимальным применением сухих углеводородных смазок / Агу Коллинз, М. Д. Узунян // Високі технології в машинобудуванні. – 2010. – Вып. 1(20). – С. 8–13.

Здобувач провів дослідження коефіцієнтів шліфування при алмазно-іскровому шліфуванні із застосуванням технології мінімального змащування та виявив особливості процесу.

3. Агу Коллинз Агу. Исследование и анализ энергоемкости алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с использованием технологии минимальной смазки / Агу Коллинз Агу, М. Н. Виноградный, М. Д. Узунян // Резание и инструмент в технологических системах. – 2010. – Вып. 76. – С. 7–16.

Здобувач показав, що енергоємність процесу алмазно-іскрового шліфування із застосуванням технології мінімального змащування є меншою в порівнянні з використанням МОТЗ поливом.

4. Пат 58078 Україна, МПК (2011.01) В24В 1/10. Твердий змащувальний матеріал для комбінованої обробки матеріалів струмопровідним абразивним інструментом / Узунян М. Д., Пижов І. М., Агу Коллінз Агу; власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № и 2010 11928; заявл. 08.10.2010; опубл. 25.03.2011. Бюл. №6.

Здобувач провів експерименти з різними твердими мастильними матеріалами й визначив їхній оптимальний склад для застосування в процесі алмазно-іскрового шліфування.

АНОТАЦІЇ

Агу Коллінз Агу. «Підвищення ефективності алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів шляхом застосування технології мінімального змащування». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2011.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми – розробці способів і умов підвищення ефективності процесу алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів шляхом застосування технології мінімального змащування, що є альтернативою МОТЗ поливом. Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовано й вирішено такі завдання: виявлено й запропоновано состав твердого мастильного матеріалу (ТММ) з рівними частинами стеарину й себацінової кислоти (патент України), який є екологічно безпечним та ефективним; встановлено раціональні електричні параметри процесу; вивчено фізичні особливості взаємодії алмазних кругів із твердим сплавом у різних умовах; виявлено менші значення коефіцієнтів шліфування й енергоємності при шліфуванні із ТММ, особливості характеру зношування алмазних зерен на робочій поверхні кругів; оптимізовано методами математичного планування експериментів умови шліфування по параметрах працездатності кругів; проведено дослідження якості поверхні й поверхневого шару; показано, що в різних умовах має місце зниження шорсткості в середньому на 25 % у порівнянні із застосуванням МОТЗ поливом; проведено дослідження залишкових напруг; встановлено формування напруг стискування із превалюванням силового фактора; зроблена вартісна оцінка якості з урахуванням не тільки питомої собівартості шліфування, але й стійкості заточених інструментів по довжині шляху різання. Процес шліфування із застосуванням технології мінімального змащування випробувано у виробничих умовах при виготовленні інструментів.

Ключові слова: технологія мінімального змащування, алмазно-іскрове шліфування, енергоємність, коефіцієнт шліфування, залишкові напруги, якість, відносна витрата алмазів, технологічна собівартість.

Агу Коллінз Агу. «Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования твердых сплавов путем применения технологии минимальной смазки». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2011.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи – разработке способов и условий повышения эффективности процесса алмазно-

искрового шлифования твердых сплавов путем применения технологии минимальной смазки. Эта технология является альтернативой использованию СОТС поливом и при шлифовании ранее она не применялась. Эффективность технологии минимальной смазки особенно хорошо проявляется в процессе алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с обратной полярностью алмазными кругами на металлической связке; при этом большая часть энергии разрядов направлена на рабочую поверхность круга, что способствует созданию устойчивой разновысотности алмазных зерен и стабильных условий взаимодействия развитого рельефа с обрабатываемым материалом. Удобство применения, экономичность, экологические аспекты и др. позволяют считать эту технологию весьма перспективной.

В качестве твердого смазочного материала (ТСМ) предложен состав равных частей стеарина и себациновой кислоты (патент Украины), который показал наибольшую эффективность и является экологически безопасным; сухая смазка в рассматриваемом процессе является диэлектрической средой, которая способствует возникновению и проявлению электрических разрядов.

Выявлены рациональные электрические параметры процесса, обеспечивающие высокую работоспособность алмазных кругов при наименьшей удельной себестоимости шлифования.

В диссертации исследованы особенности взаимодействия алмазных кругов с обрабатываемым твердым сплавом в различных условиях – с применением СОТС поливом и ТСМ. Установлены меньшие значения коэффициентов шлифования при использовании ТСМ, а значит меньше и напряженность процесса АИШ. Более низкие значения энергоемкости вызваны специфическим воздействием смазочной среды на адсорбированные поверхности материала, особенно при шлифовании композиции «твердый сплав–сталь»; иницирование адсорбционных эффектов, вызываемых компонентами состава ТСМ, способствует понижению свободной поверхностной энергии, хрупкой прочности и работы диспергирования.

Электронно-микроскопические исследования характера износа режущей поверхности алмазных кругов позволили установить, что засаливание не происходит, зерна изнашиваются микровыкрашиванием и скалыванием отдельных элементов с образованием новых кромок, обнаруживается также усталостный износ.

Установлены оптимальные условия обработки твердого сплава; исследования проводились методами планирования экспериментов второго порядка с анализом двумерных сечений поверхностей отклика и расчетных однофакторных зависимостей. К отличительным особенностям можно отнести менее существенное влияние скорости шлифования на снижение удельной себестоимости, чем нормального давления; в процессе АИШ с применением технологии минимальной смазки скорость резания незначительно влияет на самозатачиваемость алмазных кругов, так как их высокая режущая способность обеспечивается воздействием электрических разрядов на металлическую связку круга.

Проведены исследования качества поверхности и поверхностного слоя. Показано, что в различных условиях АИШ имеет место снижение шероховатости поверхности среднем на 25 % при шлифовании с применением ТСМ по сравнению с СОТС поливом.

Остаточные напряжения исследовались с помощью дифрактометра ДРОН-2.0, анализ напряженного состояния проводился с помощью $\sin^2 \psi$ -метода.

Установлено, что при шлифовании с применением ТСМ так же как и с СОТС поливом в поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия с превалированием силового фактора; следовательно тепловой фактор не оказывает заметного влияния на уровень и характер макронапряжений при использовании ТСМ, несмотря на отсутствие охлаждающего фактора в виде СОТС поливом.

Проведены специальные стойкостные испытания инструментов, обработанных в различных условиях шлифования. Это позволило рассчитать суммарную технологическую себестоимость обработки, которая включает не только удельную себестоимость собственно шлифования, но и учитывает стойкость заточенных инструментов по длине пути резания при точении. Таким образом, была произведена стоимостная оценка качества, т.е. реализован подход, соответствующий инжинирингу качества.

Показано, что применение технологии минимальной смазки по сравнению с СОТС поливом при алмазно-искровом шлифовании обеспечивает более высокую износостойкость твердосплавных инструментов при их эксплуатации и соответственно меньшую суммарную технологическую себестоимость.

Процесс АИШ с применением ТСМ испытан в производственных условиях при изготовлении инструментов.

Ключевые слова: технология минимальной смазки, алмазно-искровое шлифование, энергоемкость, коэффициент шлифования, остаточные напряжения, качество, относительный расход алмазов, технологическая себестоимость.

Agu Collins Agu. «Improving the Effectiveness of Diamond-Spark grinding of hard alloys by utilizing Minimum Quantity Lubrication Technology». – The manuscript.

This dissertation (thesis) is submitted in fulfillment of a Doctor of Philosophy Degree in Technical Sciences (Mechanical Engineering) specializing in 05.03.01 – Mechanical Machining processes, Machines and Tools. National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, 2012.

This PhD work is devoted to solving a real problem – development of methods and conditions for improving the effectiveness of diamond-spark grinding of hard alloys by utilizing Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technology, which is an alternative to the splashing of lubricating coolant (COTC). In order to achieve the set

goal of this PhD work, the following tasks (problems) were formulated and resolved: developed and presented the constituents of a solid lubricant, having equal parts of stearin and sebacic acid (Ukrainian Patent) and which is at the same eco-friendly (ecologically clean) and effective. Developed rational electrical parameters for the diamond-spark grinding process. Studied the physical peculiarities of the interaction between diamond wheels and solid alloy in various conditions. Developed minimal values for grinding ratios and energy intensity during grinding while utilizing a solid lubricant; peculiarities of the nature of surface wear of diamond grains; optimized the conditions for grinding according to certain parameters such as wheel performance by using a model called Mathematical Planning of Experiment; investigations were done on the quality of surface and surface layer; it was demonstrated that under various conditions, a reduction of 25 % in roughness took place, compared to using a splashed cooling lubricant; investigations were carried out on residual stress; the formation of compressive stresses with prevailing stress factor; computed the valuation of quality not only according to specific grinding cost but also durability of sharpened tool based on the length of the (machined) path; the grinding process utilizing Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technology was tested in a manufacturing condition for making tools.

Keywords: MQL (Minimum Quantity Lubrication), diamond-spark grinding, energy intensity, grinding ratio, residual stress, quality, relative expense of diamond, technological (process) cost.