

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

О.А. Гавриш, д.т.н.  
А.П. Гавриш, д.т.н., проф.  
П.О. Киричок, д.т.н.  
Т.А. Роїк, д.т.н., проф.  
Ю.Ю. Віщюк, к.т.н., с.н.с.

Національний технічний університет України «КПІ»

### АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ТОНКОМУ КУБОНІТОВОМУ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З ВИСОКОЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТИВ ДЛЯ ЖОРСТКИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Наведено результати експериментальних досліджень миттєвих контактних температур, що утворюються на вершині різальної кромки кубонітового зерна при тонкому кубонітовому шліфуванні деталей тертя з нових композиційних матеріалів на основі утилізованих та відновлених шліфувальних відходів інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ, 4ХМНФСА та 11РЗАМЗФ2.*

*Досліджено вплив структури кубонітового круга та режимів різання на рівень температур. Показано, що структура інструмента, зернистість та матеріал зв'язки кубонітового круга суттєво впливають на температурне поле (миттєві контактні температури) при тонкому шліфуванні поверхонь деталей. Доведено, що для формування високих параметрів якості робочих поверхонь деталей з нових композитів необхідно застосовувати кубонітові шліфувальні круги на базі кубічного нітриду бору (КНБ) зернистістю 14–20 мкм на еластичній зв'язці (Бр1). Експериментально показано, що зменшення у 2–2,5 раза зернистості кубонітового круга викликає суттєве зниження рівня контактних температур. Встановлено, що мінімізувати температурне поле у різальній зоні при тонкому кубонітовому шліфуванні нових високолегованих композитних сплавів на основі шліфувальних відходів інструментального виробництва можливо застосуванням дрібнозернистих кубонітових інструментів. Найвищі параметри якості робочих поверхонь деталей тертя з нових композитів досягаються шляхом використання тонких процесів фінішного механічного оброблення, а саме – тонкого кубонітового шліфування з такими режимами різання: швидкість обертання кубонітового круга  $V_{кр} = 25–35$  м/с; швидкість деталі  $V_0 = 0,5–1$  м/хв.; глибина різання  $t = 10–15$  мкм, охолодження – 3 % розчин содової емульсії.*

**Ключові слова:** кубонітове шліфування, композити, умови експлуатації, високолеговані композити, температурне поле.

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У сучасній техніці інтенсифікуються режими роботи обладнання, коли машини, їх вузли та деталі працюють у складних і навіть жорстких умовах експлуатації. Так вузли компресорних станцій магістральних газогонів, деталі тертя високошвидкісної друкарської техніки та інше функціонують за температур до 800 °С, тисках у межах 5–8 МПа, швидкостях обертання до 600 об./хв. в умовах дії агресивного середовища – повітря. Для цього останнім часом науковці створили спеціальні матеріали, що синтезовані на базі шліфувальних відходів інструментального виробництва [1–3].

Для забезпечення параметрів зносостійкості та довговічності деталей з нових композитних сплавів їх робочі поверхні (згідно з технологічними регламентами) формують надтонкими методами абразивного оброблення (тонке шліфування, магнітно-абразивна обробка, суперфініш на доводка, хонінгування).

В останні роки були виконані всебічні дослідження впливу на параметри шорсткості  $R_a$  поверхонь оброблення композитів складу абразивного [4] та алмазного [5] інструмента та режимів різання при тонкому шліфуванні. Достатньо детально вивчено закономірності утворення високоякісних поверхонь тертя магнітно-абразивним обробленням [6, 7].

На жаль, досліджень температурних факторів тонкого кубонітового шліфування досі не існує. Це є причиною того, що немає реальної можливості оптимізувати технологічні процеси тонкого шліфування поверхонь тертя деталей з нових композиційних сплавів. Адже відомо, що параметри якості поверхонь при шліфуванні формуються в умовах одночасної дії силового та температурного полів, що виникають при зрізанні стружки загостреною вершиною кожного різального зерна шліфувального інструменту [6–8]. Складові сил різання (силове поле) утворюють залишкові напруження у поверхневому шарі деталей, що оброблюються. Одночасно виникають температури внаслідок пластичних деформацій зрізання стружки та тертя різального зерна в зоні шліфування. Ці миттєві контактні температури (температурне поле) обумовлюють процеси відпочинку шару металу, що попередньо був зміцненим. Накладання одночасних процесів зміцнення та відпочинку шару металу, що обробляється, обумовлює кінцеві

значення параметрів шорсткості поверхні  $R_a$  та фізичних властивостей шару (залишкових напружень, глибини та ступеню наклепу, глибини залягання наклепу).

**Мета і завдання досліджень.** Метою даної статті є всебічне дослідження температурного поля у зоні тонкого кубонітового шліфування нових композитних матеріалів, а також вивчення впливу складу кубонітового інструменту (матеріал зерна, зернистість шліфувального круга, матеріал зв'язки) та режимів різання на рівень миттєвих контактних температур.

Завданнями даного дослідження було:

1. Дослідити закономірності утворення контактних температур при тонкому кубонітовому шліфуванні нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ, 4ХМНФСА та 11РЗАМЗФ2 з домішками твердого мастила  $CaF_2$ .

2. З'ясувати, які параметри структури кубонітового шліфувального круга (зернистість, тип зв'язки інструменту) суттєво впливають на температурне поле при тонкому кубонітовому шліфуванні нових композитів.

3. Встановити рекомендації щодо вибору для оброблення поверхонь деталей тертя, виготовлених з нових високолегованих та важкооброблюваних композиційних сплавів.

4. Створити рекомендації для промисловості з вибору режимів тонкого кубонітового шліфування нових композитів з оптимізацією температурних показників, що виникають на вершині кубонітового зерна при обробленні.

**Результати досліджень.** Експериментальні дослідження температурного поля при кубонітовій обробці нових композиційних сплавів виконувались згідно з методикою, наведеною у [4, 7, 8, 11, 12].

Особливістю досліджень було те, що вони виконувались при зрізанні надтонких перерізів стружки, коли глибина шліфування перебуває у межах 0,001–0,005 мм.

Для досліджень використовувались зразки з нових композиційних сплавів 7ХГ2ВМФ + 5 %  $CaF_2$ , 4ХМНФСА + 5 %  $CaF_2$  та 11РЗАМЗФ2 + 5 %  $CaF_2$  [1–3].

Для встановлення оптимальних режимів шліфування, що забезпечують отримання максимальної якості поверхні, були досліджені залежності величини миттєвої контактної температури, усередненої за шириною круга, від режимів різання при тонкому плоскому кубонітовому шліфуванні.

Слід особливо підкреслити, що при проведенні досліджень перед кожним вимірюванням температур круг правився, потім деталь (зразок) шліфувалась начисто і виходжувалась протягом 3–5 проходів, тобто всі круги мали приблизно однаковий ступінь затуплення.

Підкреслимо, що враховуючи, що зерна кубічного нітриду бору (КНБ) мають найгострішу різальну кромку, порівняно з зернами карбіду кремнію зеленого (63С), електрокорунду білого (23А) та монокорунду (М) [5], для всіх дослідів використовувались лише шліфувальні круги з кубоніту (КНБ).

У таблицях 1–3 наведено результати експериментів з дослідження температурного поля (миттєвих контактних температур) при кубонітовому шліфуванні різних за властивостями композиційних сплавів.

Аналіз таблиць 1–3 показує, що тонке шліфування нових композитних матеріалів кругами з кубічного нітриду бору (КНБ) на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при швидкості обертання шліфувального круга 25 м/с та глибині шліфування 0,003–0,005 мм обумовлює виникнення в зоні оброблення мінімальних температур (100–260 °С). Це створює придатні умови для найменших спотворень фізичних властивостей поверхневого шару деталі (залишкових напружень, глибини та ступеню наклепу), з якого відбувається зрізання надтонких стружок.

Таблиця 1

Миттєві контактні температури ( $T$ , °С) при шліфуванні зразків з 11РЗАМЗФ2 + 5 %  $CaF_2$

Глибина шліфування по лімбу верстата $t_n$ , мм	Характеристика шліфувального круга		
	КНБМ14Бр1 100 %	КНБМ14М1 100 %	КНБ5Бр1 100 %
	Т, °С		
0,005	75	85	115
0,01	110	130	157
0,02	155	187	290
0,03	180	260	370
0,05	220	384	465

Примітка: шліфувальний верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_k$  – 25 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; охолодження – 3 % розчин содової емульсії

Таблиця 2

Миттєві контактні температури ( $T$ , °C) при шліфуванні  
зразків з матеріалу 4ХМНФСА + 5 %CaF<sub>2</sub>

Глибина шліфування по лімбу верстата $t_n$ , мм	Характеристика шліфувального круга		
	КНБМ14Бр1 100 %	КНБМ14М1 100 %	КНБ5Бр1 100 %
	T, °C		
0,005	90	115	140
0,01	115	175	210
0,02	160	195	320
0,03	175	285	495
0,05	265	410	620

Примітка: шліфувальний верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_k$  – 25 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; охолодження – 3 % розчин содової емульсії

Таблиця 3

Миттєві контактні температури ( $T$ , °C) при шліфуванні  
зразків з матеріалу 7ХГ2ВМФ + 5 %CaF<sub>2</sub>

Глибина шліфування по лімбу верстата $t_n$ , мм	Характеристика шліфувального круга		
	КНБМ14Бр1 100 %	КНБМ14М1 100 %	КНБ5Бр1 100 %
	T, °C		
0,005	110	135	170
0,01	137	177	225
0,02	190	245	355
0,03	240	320	510
0,05	360	415	640

Примітка: шліфувальний верстат FF – 250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_k$  – 25 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; охолодження – 3% розчин содової емульсії

Слід звернути увагу і на те, що використання кубонітових кругів на еластичній зв'язці Бр1 (з точки зору температурного поля) дає кращі результати, ніж кругів на металевій зв'язці М1. Пояснення цьому може бути знайденому саме у характеристиках зв'язки: бакелітно-гумова зв'язка – найбільш еластична. Тому сили різання, які утворюються при зрізанні стружки з поверхні оброблення, зменшують фактичну глибину врізання різального зерна у поверхневий шар деталі. Це, відповідно, змінює умови різання, а саме – суттєво зменшує переріз стружки, що і викликає зниження миттєвих контактних температур та сприяє перерозподілу тисків, одночасно покращуючи умови формування рельєфу поверхні оброблення з забезпеченням необхідних показників шорсткості  $R_a$ .

Дуже важливим для технологів-практиків є результати виконаних досліджень з оптимізації вибору зернистості кубонітового інструменту. Попередніми експериментами було доведено, що шліфування нових композитних сплавів (з точки зору формування найкращої шорсткості поверхні) забезпечують дрібнозернисті шліфувальні круги [4].

Ціми ж дослідженнями були встановлені аналітичні залежності між параметрами шорсткості поверхні  $R_a$  та розміром зерна кубонітового інструменту.

Тому логічним і технічно обґрунтованим було вивчення впливу зернистості кубонітового круга на миттєві контактні температури у зоні різання. Результати цього дослідження наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

Вплив розміру зерна А при тонкому плоскому шліфуванні зразків з нових композитів  
на основі відходів інструментальних сталей [1–3] на миттєві контактні температури  
( $T$ , °C)

Розмір зерна А кубонітового інструменту, мкм	Матеріал зразків		
	11Р3АМ3Ф2 + 5 % CaF <sub>2</sub>	7ХГ2ВМФ + 5 % CaF <sub>2</sub>	4ХМНФСА + 5 % CaF <sub>2</sub>
	T, °C		
50	125	175	145
28	110	157	137
20	95	145	112
14	75	110	90

Примітка: шліфувальний верстат FF-250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_k$  – 25 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; глибина різання  $t = 0,005$  мкм; охолодження – 3 % розчин содової емульсії, матеріал зерна круга – кубічний нітрид бору (КНБ); зв'язка круга – бакелітно-гумова (Бр1)

Аналіз таблиці 4 показує, що зменшення зернистості шліфувального круга (розміру зерна А) суттєво (майже у 1,5–1,6 рази) знижує значення миттєвих контактних температур  $T$  [9, 10]. Це дозволяє зробити

висновок, що, з точки зору мінімізації температурного поля у зоні оброблення, для тонкого кубонітового шліфування нових композитних сплавів на основі шліфувальних відходів інструментального виробництва необхідно застосовувати дрібнозернисті інструменти з зернистістю у межах 14–20 мкм.

Висновки. Вперше досліджені закономірності утворення миттєвих контактних температур при кубонітовому обробленні нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів інструментальних сталей 11P3AM3Ф2, 7XГ2ВМФ та 4ХМНФСА з домішками твердого мастила СаF<sub>2</sub>.

Показано, що на температурне поле (миттєві контактні температури) при шліфуванні суттєво впливають зернистість інструмента та матеріал зв'язки шліфувального круга.

Доведено, що для формування високих параметрів якості поверхонь оброблення деталей з нових композитів необхідно застосовувати шліфувальні круги на основі кубічного нітриду бору (КНБ) на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1 із зернистістю у межах 14–20 мкм.

За температурними показниками найкращі результати отримані з використанням таких режимів тонкого кубонітового шліфування: швидкість круга  $V_{кр} = 25$  м/с, швидкість виробу  $V_v = 2$  м/хв., глибина різання  $t = 2\text{--}5$  мкм, охолодження – 3 % розчин содової емульсії.

#### Список використаної літератури:

1. Патент України № 60521, МПК С22 С 33/02. Композиційний підшипниковий матеріал / Роїк Т.А., Гавриш А.П., Киричок П.О., Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., Мельник О.О., опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
2. Патент України № 60522, МПК С22С33/02 (2006.01). Підшипниковий композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т. А, Гавриш А. П., Киричок П.О., Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., Мельник О. О., опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12.
3. Патент України №102299, С22С33/02. Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., опубл. 25.06.2013, Бюл. №10.
4. Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // Технологія і техніка друкарства. – № 3. –2012. – С. 65–77.
5. Вплив складу інструменту і режимів тонкого алмазного шліфування на шорсткість поверхні композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // Наукові вісті Національного технічного університету України «КПІ». – № 5. – 2013. – С. 112–121.
6. Финишная обработка деталей сферической формы с наложением магнитных полей / Л.Е. Сергеев, А.П. Ракомсин, М.И. Сидоренко и др. // Технология машиностроения. – 2007. – № 12. – С. 25–27.
7. Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації : монографія / А.П. Гавриш, О.О. Мельник, Т.А. Роїк та ін. – К. : НТУУ „КПІ”, 2012. – 196 с.
8. Гавриш А.П. Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів : монографія / А.П. Гавриш, П.П. Мельничук. – Житомир : ЖДТУ, 2003. – 652 с.
9. Патент України № 39827 МПК(2006), G11B5/127 Спосіб вимірювання миттєвих контактних температур у зоні магнітно-абразивної обробки / А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.О. Мельник, Ю.Ю. Віцюк, О.А. Гавриш, опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
10. Патент України № 39828 МПК(2006), G01K7/02, G11B5/127 Термопара / А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.О. Мельник, Ю.Ю. Віцюк, О.А. Гавриш, опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
11. Аналіз параметрів якості поверхонь підшипників ковзання з композиційних сплавів для друкарських машин при абразивному шліфуванні / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 63–67.
12. Дослідження температур при тонкому абразивному шліфуванні деталей з композитів на основі відходів інструментальних сталей / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк // Вісник Тернопільського технічного університету. – №1. – 2013. – С. 10–15.

ГАВРИШ Олег Анатолійович – доктор технічних наук, професор, декан факультету менеджменту та маркетингу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- інноваційні технології машинобудування;
- фінішні методи прецизійної обробки поверхонь деталей.

ГАВРИШ Анатолій Павлович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- теорія процесів шліфування;
- фінішні методи оброблення матеріалів зі спеціальними властивостями.

КИРИЧОК Петро Олексійович – доктор технічних наук, професор, директор Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- технологія поліграфічного машинобудування;
- поверхнева оздоблювально-зміцнююча обробка деталей.

РОЇК Тетяна Анатоліївна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри репрографії Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- синтез нових композиційних матеріалів;
- технологія виробництва матеріалів.

ВІЦЮК Юлія Юліївна – кандидат технічних наук, ст. науковий співробітник, старший викладач кафедри репрографії Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- синтез нових композиційних матеріалів;
- фізико-механічні властивості композитів.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2013