

УДК 621.002.3:621.822.1:621.7.09

А.П. Гавриш, д-р техн. наук, проф., П.О. Киричок, д-р техн. наук, проф.,  
Т.А. Роїк, д-р техн. наук, проф., Ю.Ю. Віцюк, канд. техн. наук, Ю.О. Гавриш  
Національний технічний університет України «КПІ», Україна  
Тел./ факс: 097-952-18-59  
E-mail: roik2011@gmail.com; yuliav@lanet.kiev.ua

### АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ТОНКОМУ ЕЛЬБОРОВОМУ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

В статті наведені результати експериментального дослідження миттєвих контактних температур, які виникають на кінці ріжучого леза ельборового зерна при тонкому шліфуванні деталей тертя, виготовлених з нових композиційних матеріалів на основі утилізованих шліфувальних регенованих відходів легованих інструментальних сталей P2AM9K5, 7XГ2ВМФ та ХН55ВТКЮ з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ . Вивчено вплив складу ельбору та режимів різання на значення температур. Показано, що на температурне поле (миттєві контактні температури) при шліфуванні суттєво впливають матеріал ельборового зерна, зернистість інструменту та матеріал зв'язки шліфувального круга.

Доведено, що найвищі параметри якості робочих поверхонь деталей з нових композитів досягаються при використанні шліфувальних кругів на основі ельбору звичайної міцності (ЛО) зернистістю 14-20 мкм на бакелітно-гумовій зв'язці.

Експерименти показали, що зменшення зернистості шліфувального круга у 2 – 5 рази знижує величину миттєвих контактних температур.

Мінімізація температурного поля в зоні оброблення для тонкого ельборового шліфування нових композитних сплавів на основі шліфувальних відходів інструментального виробництва відбувається при застосуванні дрібнозернистих ельборових інструментів.

**Ключові слова:** композитні сплави, миттєві контактні температури, ельборові інструменти, режими шліфування.

#### 1. Вступ

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 при температурах до 800°C, тисках у межах 5–8 МПа, швидкостях обертання до 600 об./хв. в умовах дії агресивного середовища – повітря. Для цих цілей останнім часом науковці створили спеціальні матеріали, які 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 фінішного 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, алмазного, ельборового інструменту та режимів різання при тонкому шліфуванні [4-7]. Достатньо детально вивчено закономірності утворення високоякісних поверхонь тертя магнітно-

абразивним обробленням [5].

Технічний прогрес та безперервне зростання ефективності виробництва у сучасному машинобудуванні пов'язані з широким застосуванням нових видів абразивних та інструментальних матеріалів і створенням з них сучасних інструментів. Одним з таких матеріалів є ельбор – синтетичний матеріал на основі кубічного нітриду бору. На практиці широке розповсюдження отримали шліфувальні інструменти двох типів: ЛО – звичайної механічної міцності та ЛП – підвищеної механічної міцності.

Вивчення особливостей застосування ельбору для механічного оброблення металів показало, що він по твердості наближається до алмазу (але значно випереджає його по теплостійкості), є хімічно інертним до заліза, що і окреслює зону ефективного застосування інструментів цього класу [8]. Особливо корисним є використання ельборових шліфувальних кругів при обробці високотвердих та складнолегованих матеріалів [8]. Саме нові композиційні матеріали деталей тертя для друкарської техніки [1-3] суттєво підвищують зносостійкість машин. Вони є складнолегованими і містять у своєму складі такі елементи як вольфрам, ванадій, титан, кобальт, ніобій, нікель та цирконій, що свідчить про важкооброблюваність методами механічної обробки.

На жаль, питання досліджень температурних факторів тонкого ельборового шліфування залишається не висвітленим. Це є причиною того, що немає реальної можливості оптимізувати технологічні процеси тонкого ельборового 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 ріжучого зерна шліфувального інструменту [9].

Складові сил різання (силове поле) утворюють залишкові напруження у поверхневому шарі деталей, що оброблюються. Одночасно, виникають температури (внаслідок пластичних деформацій зрізання стружки та тертя абразивного 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).

Тому **метою** даної статті є всебічне дослідження температурного поля у зоні тонкого ельборового шліфування нових композитних матеріалів, а також встановлення впливу складу ельборового інструменту (матеріал зерна, зернистість шліфувального круга, матеріал зв'язки) та режимів різання на рівень миттєвих контактних температур.

## **2. Основний зміст та результати роботи**

Експериментальні дослідження температурного поля при ельборовій обробці нових композиційних сплавів виконувались згідно з методикою, наведеною у роботах [9 – 11].

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 P2AM9K5 + 5% CaF<sub>2</sub>, 7XГ2ВМФ + 5% CaF<sub>2</sub> та ХН55ВТКЮ + 5% CaF<sub>2</sub> [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 ельборовому 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.

Враховуючи, що зерна ельбору (ЛО) мають найгострішу ріжучу кромку у порівнянні з зернами електрокорунду білого (23А) та монокорунду (М) [9], для всіх дослідів використовувались лише шліфувальні круги з ельбору (ЛО).

У табл. 1,2 наведені результати експериментів з дослідження температурного поля (миттєвих контактних температур) при ельборовому шліфуванні різних за властивостями композиційних сплавів.

Таблиця 1. Миттєві контактні температури при ельборовому шліфуванні зразків з P2AM9K5 + 5% CaF<sub>2</sub>

Глибина шліфування по лімбу верстата $t_{л}$ , мм	Характеристика шліфувального круга		
	ЛОМ14Бр1 100%	ЛПМ14Бр1 100%	ЛОМ14К1 100%
	$T$ , °C		
0,005	115	120	145
0,01	155	170	220
0,02	195	205	345
0,03	220	385	480
0,05	285	505	610

Примітка: Шліфувальний верстат FF – 250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_{кр}$  – 22 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; охолодження – 3% розчин содової емульсії.

Таблиця 2. Миттєві контактні температури при ельборовому шліфуванні зразків з матеріалу 7ХГ2ВМФ + 5% CaF<sub>2</sub>

Глибина шліфування по лімбу верстата $t_{л}$ , мм	Характеристика шліфувального круга		
	ЛОМ14Бр1 100%	ЛПМ14Бр1 100%	ЛОМ14К1 100%
	$T$ , °C		
0,005	110	125	150
0,01	140	165	220
0,02	180	275	340
0,03	220	395	415
0,05	285	515	575

Примітка: Шліфувальний верстат FF – 250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_{кр}$  – 22 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; охолодження – 3% розчин содової емульсії.

Аналіз табл. 1, 2 показує, що тонке шліфування нових композитних матеріалів ельборовими кругами на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при швидкості обертання шліфувального круга 22 м/с та глибинах шліфування 0,003 – 0,005 мм обумовлює виникнення в зоні оброблення мінімальних температур (110 – 300 °C). Це створює придатні умови для найменших спотворень фізичних властивостей поверхневого шару деталі (залишкових напружень, глибини та ступеню наклепу), з якого відбувається зрізання надтонких стружок.

Слід звернути увагу і на те, що використання ельборових кругів на бакелітно-гумовій зв'язці Бр1 (з точки зору температурного поля) дає кращі результати, ніж кругів на керамічній зв'язці К1. 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 ріжучого 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 ельборового інструменту. Попередніми експериментами було доведено, що шліфування нових композитних сплавів (з точки зору формування найкращої шорсткості поверхні) забезпечують дрібнозернисті шліфувальні круги [4,6,7].

За результатами проведених дослідів були встановлені аналітичні залежності між параметрами шорсткості поверхні  $R_a$  та розміром зерна шліфувального інструменту.

Тому логічним і технічно обґрунтованим було вивчення впливу зернистості ельборового круга на миттєві контактні температури у зоні різання. Результати цього дослідження наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Вплив розміру зерна при тонкому плоскому ельборовому шліфуванні зразків з нових композитів на основі відходів інструментальних сталей [1 - 3] на миттєві контактні температури

Розмір зерна А шліфувального кругу, мкм	Матеріал зразків		
	P2AM9K5+5% CaF <sub>2</sub>	7ХГ2ВМФ+5% CaF <sub>2</sub>	ХН55ВТКЮ+5% CaF <sub>2</sub>
	Т, °С		
50	270	260	285
28	220	210	220
20	160	145	180
14	115	110	145

Примітка: Шліфувальний верстат FF – 250 «Abawerk» (ФРН); швидкість круга  $V_{кр}$  – 22 м/с; швидкість виробу  $V_v$  – 2 м/хв.; глибина різання  $t$  = 0,005 мкм; охолодження – 3% розчин содової емульсії, матеріал зерна круга – ельбор звичайної міцності (ЛЮ); зв'язка круга – бакелітно-гумова (Бр1).

Аналіз табл. 3 показує, що зменшення зернистості шліфувального круга (розміру зерна А) суттєво (майже у 1,5–1,6 рази) знижує значення миттєвих контактних температур. Доцільно зауважити, що застосування для обробки ельборових шліфувальних кругів на базі зерен підвищеної міцності (ЛП) супроводжується виникненням в зоні різання дещо вищих температур. Скоріше за все, це може бути пояснено тим, що у сполученні з керамічною зв'язкою більш міцні зерна ельбору марки ЛП під дією сил різання і завдяки схильності до крихкості руйнуються. Це викликає створення у зоні шліфування додаткових блоків тіл, які починають приймати участь у процесі різання і, відповідно, підвищує рівень миттєвих контактних температур. Узагальнюючі отримані дані необхідно зробити висновок, що з точки зору мінімізації температурного поля у зоні оброблення для тонкого ельборового шліфування нових композитних сплавів на основі шліфувальних відходів інструментального виробництва необхідно застосовувати дрібнозернисті інструменти з зернистістю у межах 14 – 20 мкм, використовуючи зерна ельбору звичайної міцності (ЛЮ).

### 3. Висновки

1. Вперше досліджені закономірності утворення миттєвих контактних температур при тонкому ельборовому шліфуванні нових композиційних сплавів, синтезованих на основі утилізованих та регенерованих шліфувальних відходів інструментальних сталей P2AM9K5, 7XГ2ВМФ та ХН55ВТКЮ з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ .

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

3. Доведено, що для формування високих параметрів якості поверхонь оброблення деталей з нових композитів необхідно застосовувати шліфувальні круги з ельбору звичайної міцності (ЛЮ) на бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) при 100%-й концентрації ельбору із зернистістю у межах 14 – 20 мкм.

4. За температурними показниками найкращі результати отримані з використанням таких режимів тонкого ельборового шліфування: швидкість круга  $V_{\text{кр}} - 22$  м/с, швидкість виробу  $V_{\text{в}} - 2$  м/хв., глибина різання  $t - 2 \div 5$  мкм, охолодження – 3 % розчин содової емульсії.

### Список літератури:

1. Патент України №102299, МПК C22C 33/02. Антифрикційний композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., опубл. 25.06.2013, Бюл. №13.

2. Патент України № 41532, МПК C22C 33/02. Підшипниковий композиційний матеріал / Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А., Віцюк Ю.Ю., Холявко В.В., Мельник О.О., Луфепенко О.С., опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.

3. Патент України № 31545, МПК C22C 19/03. Антифрикційний композиційний матеріал на основі нікелю / Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А., Холявко В.В., Віцюк Ю.Ю., опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.

4. Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні / Гавриш А.П., Киричок П.О., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю. // Технологія і техніка друкарства. – № 3. – 2012. – С. 65-77.

5. Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації: монографія / Гавриш А.П., Мельник О.О., Роїк Т.А., Аскеров М.Г., Гавриш О.А. – К.: НТУУ „КПІ”, 2012. – 196 с.

6. Вплив складу інструменту і режимів тонкого алмазного шліфування на шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / Гавриш А.П., Киричок П.О., Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю. Наукові вісті Національного технічного університету України «КПІ». – № 5. – 2013. – С. 96-105.

7. Гавриш А.П., Роїк Т.А., Киричок П.О., Віцюк Ю.Ю. Вплив складу інструменту і режимів тонкого ельборового шліфування на шорсткість поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / Вісник Житомирського держ. технолог. університету. – № 4. – 2012. – С. 56-95.

8. Эльбор в машиностроении: монография / В.С. Лысанов, А.В. Букин, Б.А. Глаговский, З.И. Кремень; под ред. В.С. Лысанова. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 280 с.

9. Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: монографія / А.П. Гавриш, П.П. Мельничук. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 652 с.

10. 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.Вицюк, О.А. Гавриш, опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.

11. Патент України № 39828 МПК(2006), G01K7/02, G11B5/127 Термопара/ А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.О. Мельник, Ю.Ю.Вицюк, О.А. Гавриш, опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.

Надійшла до редакції 28.01.2014

А.П. Гавриш, П.А. Киричок, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Вицюк, Ю.О. Гавриш

#### **АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ТОНКОМ ЭЛЬБОРОВОМ ШЛИФОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ**

*В статье приведены результаты экспериментального исследования мгновенных контактных температур, возникающих на конце режущего лезвия эльборового зерна при тонком шлифовании деталей трения, изготовленных из новых композиционных материалов на основе утилизированных шлифовальных регенерированных отходов легированных инструментальных сталей P2AM9K5, 7XГ2БМФ и ХН55ВТКЮ с примесями твердой смазки CaF<sub>2</sub>. Изучено влияние состава эльбора и режимов резания на значения температур. Показано, что на температурное поле (мгновенные контактные температуры) при шлифовании существенно влияют материал эльборового зерна, зернистость инструмента и материал связки шлифовального круга. Доказано, что высокие параметры качества рабочих поверхностей деталей из новых композитов достигаются при использовании шлифовальных кругов на основе эльбора обычной прочности (ЛО) зернистостью 14-20 мкм на бакелитно-резиновой связке. Эксперименты показали, что уменьшение зернистости шлифовального круга в 2-5 раза снижает величину мгновенных контактных температур. Минимизация температурного поля в зоне обработки для тонкого эльборового шлифования новых композитных сплавов на основе шлифовальных отходов инструментального производства происходит при применении мелкозернистых эльборовых инструментов.*

**Ключевые слова:** композитные сплавы, мгновенные контактные температуры, эльборовые инструменты, режимы шлифования.

A.P. Gavrish, P.A. Kirichok, T.A. Roik, Yu.Yu. Vitsyuk, Yu.O. Gavrish

#### **ANALYSIS OF TEMPERATURE IN THIN ELBOR GRINDING OF COMPOSITES PIECES BASED ON TOOL STEELS WASTES**

*The article provides the results of experimental study of instant contact temperatures on the end of the cutting blade of an elbor grain during fine grinding of friction parts made of new composite materials based on regenerated grinding wastes of tool steels P2AM9K5, 7XГ2БМФ and ХН55ВТКЮ with solid lubricants CaF<sub>2</sub>. The influence of elbor composition and cutting parameters on temperature has been studied. It is shown that the material of elbor grain, tool granulosity and material of disc's bond influence the temperature field (instant contact temperatures). Experiments have shown that reduction of grinding discs' granulosity reduces the instantaneous contact temperature by 2-5 times. Minimization of the temperature field in the treatment area for fine elbor grinding of new composite alloys based on grinding wastes takes place when fine-grained elbor tools are applied.*

**Keywords:** composite alloys, instant contact temperature, elbor tools, grinding modes.