

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.  
Т.А. Роїк, д.т.н., проф.  
П.О. Киричок, д.т.н., проф.  
С.М. Зигуля, ст. викл.  
Ю.Ю. Віцюк, к.т.н.

Національний технічний університет України «КПІ»

## ОСОБЛИВОСТІ ПРЕЦИЗІЙНОЇ ДОВОДКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

*Наведено особливості прецизійної машинної доводки плоских поверхонь деталей тертя зі зносостійких високолегованих композитів на основі інструментальних сталей типу 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, Р6М5К5, Р6М5Ф3, 4ХМФТС, 4Х2В5МФ для технологічних комплексів підприємств поліграфічного машинобудування, а також для верстатних систем легкої та харчової галузей промисловості народного господарства України. Доказано, що на параметри якості поверхні оброблення суттєво впливають технологічні фактори процесів прецизійної машинної доводки: режими різання, матеріал дисків для доводки, матеріал та зернистість абразивних порошоків для фінішного оброблення, а також склад мастильно-охолоджуючої рідини. Показано, що найкращі результати отримано при застосуванні для фінішної прецизійної доводки чавунних дисків з використанням зерен, що мають гострі радіуси при вершині зерна абразивів.*

**Ключові слова:** абразиви; прецизійна доводка; зносостійкі композити; технологічні комплекси.

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Однією з найважливіших проблем при створенні новітніх зразків сучасної техніки для технологічних комплексів є забезпечення високих параметрів їх надійності, довговічності, зносостійкості та ремонтоздатності. Особливо гостро це питання постає у випадках, коли деталі, вузли, механізми та в цілому виробниче обладнання працює при жорстких умовах експлуатації: температурні навантаження у межах 800–850 °С, питомі тиски на деталі до 7–8 МПа, агресивне оточуюче середовище (кисень повітря, виробничий пил з абразивною властивістю тощо).

В цих умовах забезпечити конкурентність нової техніки, зробити так, щоб нові технологічні комплекси були спроможні задовольняти безперервно зростаючі потреби споживачів і, особливо, характеристики довговічності та зносостійкості, можливо за допомогою створення нових конструкційних матеріалів та широкого їх застосування при виготовленні деталей і, в першу чергу, деталей тертя, які здебільшого не спроможні забезпечити безвідмовну довгострокову роботу техніки за умов дії жорстких умов експлуатації. Деталі тертя виходять з ладу, збільшується кількість простоїв складного обладнання, необхідних для ремонтних робіт.

Авторами статті в останні роки було створено нові високозносостійкі композитні сплави, які синтезовані з промислових шламкових шліфувальних відходів штампових та швидкорізальних інструментальних сталей, що є цінною і дешевою сировиною та які, на жаль, навіть на сьогодні, здебільшого, вивозяться у відвали і не використовуються у повторному циклі виробництва. У складі цих відходів є гостродефіцитні для промисловості України матеріали, такі як вольфрам, ванадій, молібден, титан, кобальт, іридій, нікель та інші. На основі розгалужених науково-дослідних робіт з регенерації та повторного використання у виробничому циклі цих сировинних ресурсів створені оригінальні високозносостійкі композиційні матеріали 85Х6НФТ, 4ХМФТС, 11РЗАМЗФ, Р6М5К5, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ, що захищені патентами України, пройшли перевірку і набули широкого розповсюдження у промисловості, зокрема, при виготовленні деталей тертя швидкісних поліграфічних машин (ротатійної друкарської техніки, ножових, різальних машин, висікального обладнання паперу та картону), верстатів легкої та харчової промисловості, компресорних станцій газогонів та інше [1–5].

Деякі основні властивості нових високолегованих зносостійких композиційних матеріалів, що синтезовані на основі відходів штампових та швидкорізальних інструментальних сталей, наведено у таблиці 1.

Відомо [2–5], що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності обладнання, суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя і, в першу чергу, від шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару. Ці параметри формують СМ-вініфікації операціях тонкого абразивного оброблення.

У зв'язку з тим, що нові композити (табл. 1) знайшли своє застосування у промисловості відносно нещодавно, розгалужених та всебічних досліджень процесів їх тонкого абразивного оброблення до цього часу практично немає. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямку, зокрема досліджено вплив складу інструменту та режимів різання на параметри шорсткості, наклепу, сили і температури у зоні зрізання стружки, рівня залишкових напружень при тонкому абразивному, алмазному, кубонітовому та ельборовому шліфуванні [2–5].

Таблиця 1

Основні фізико-механічні та антифрикційні властивості композиційних сплавів,  
що синтезовані зі шламових відходів штампових інструментальних сталей  
легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом

Матеріал	Межа міцності при згині, МПа	Твердість, НВ, МПа (20 °С)	Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт тертя	Інтенсивність зношування зразка, мкм/км	Інтенсивність зношування контргіла, мкм/км
Композит на основі інструментальної сталі 85Х6НФТ	570–600	860–920	750–760	0,0055–0,0085	0,5–0,8	Сліди
Композит на основі інструментальної сталі 11Р3АМЗФ	590–620	850–910	770–790	0,0050–0,0080	0,45–0,70	Сліди
Композит на основі інструментальної сталі Р6М5К5	530–540	760–870	710–720	0,0014–0,0020	0,25–0,27	Сліди
Композит на основі інструментальної сталі Р6М5Ф3	520–530	770–880	670–680	0,0016–0,0023	0,29–0,32	Сліди
Композит на основі інструментальної сталі 4ХМФТС	600–630	855–915	780–790	0,0055–0,0082	0,45–0,75	Сліди
Композит на основі інструментальної сталі 4Х2В5МФ	570–610	770–810	750–800	0,0015–0,0017	0,27–0,30	Сліди

Виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [6–11] та враховуючи специфічні властивості високолегованих композиційних сплавів на основі штампових та швидкохідних інструментальних сталей [1–5], можна дійти висновку, що доцільною є обробка високоточних плоских поверхонь деталей тертя з композитів на базі відходів високолегованих сталей за схемою тоне плоске ельборове шліфування–прецизійна механічна доводка. Така схема оброблення гарантує отримання надвисоких вимог до поверхонь тертя композитних деталей для забезпечення високих параметрів надійності роботи пар тертя (зносостійкості, довговічності, ремонтоздатності та коефіцієнта готовності). Наприклад, для прецизійних направляючих транспортних систем поліграфічних комплексів ці вимоги складають: параметр неплоскостності на базі 60×60 – 0,05–0,08 мкм, ступінь наклепу  $K = 1,4–1,5$ , глибина наклепу  $h = 2–5$  мкм, залишкові напруження у поверхневому шарі – стиску, параметр шорсткості поверхні  $R_a$  повинен знаходитись у межах 0,020–0,040 мкм. На жаль, на сьогодні повністю відсутні відомості про дослідження технологічних процесів прецизійної машинної доводки деталей з композитів на основі високолегованих інструментальних сплавів. Швидше за все, це пояснюється тим, що ці композитні матеріали лише нещодавно набули поширення у промисловості.

Тому всебічних технологічних досліджень щодо забезпеченню якості поверхонь деталей та оптимізації режимів оброблення не проводилось. В науково-технічній літературі є багато публікацій з машинної доводки плоских прецизійних поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів для систем різного призначення [6, 11–16]. Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування прецизійної машинної доводки з використанням сучасних абразивних інструментів дозволяє отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь. Проте слід звернути увагу на те, що нові типи зносостійких композитів, що розглядаються у даній роботі, є матеріалами, які мають у складі лігатур вольфрам, молібден, ванадій, титан, нікель тощо та належать (саме за цим чинником) до групи важкооброблюваних матеріалів. Вони мають свої характерні особливості і вимагають враховувати це при проектуванні технологічних процесів.

Відсутність же науково обґрунтованих рекомендацій з високоточної машинної доводки деталей з високолегованих композитів, створених з відходів штампових та інструментальних сталей, призводить до застосування на практиці різних технологічних схем оброблення, що далеко не завжди є оптимальними. Вказане викликає поширення різних технологій, що часто суттєво протирічать одна одній й здебільшого пристосовані до можливостей того чи іншого підприємства.

Тому дослідження особливостей технологічних процесів прецизійної машинної доводки плоских поверхонь зносостійких деталей тертя з нових композиційних сплавів на основі високолегованих штампових та інструментальних сталей є актуальним питанням, що має безсумнівне як наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення для технологів-виробничників.

**Мета і завдання досліджень.** Метою даної статті є всебічне дослідження особливостей прецизійної машинної доводки плоских поверхонь деталей тертя зі зносостійких важкооброблюваних композитів, отриманих синтезом з відходів штампових та інструментальних сталей і які мають у своєму складі такі легуючі елементи, як вольфрам, молібден, титан, ванадій, а саме 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, Р6М5К5, Р6М5Ф3, 4ХМФТС, 4Х2В5МФ.

Завданнями даного дослідження було:

1. Дослідити особливості процесу різання методом прецизійної машинної доводки нових високолегованих та важкооброблюваних композитів 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, Р6М5К5, Р6М5Ф3, 4ХМФТС, 4Х2В5МФ з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ .

2. Вивчити вплив абразивного інструменту (матеріал зерна мікропорошків та їх зернового складу) та режимів різання на характер процесу мікрорізання при прецизійній доводці плоских поверхонь деталей тертя для технологічних комплексів.

3. З'ясувати питання стружкоутворення при прецизійній машинній доводці нових марок високозносостійких важкооброблюваних композиційних сплавів.

4. Створити рекомендації для промисловості з вибору режимів прецизійної машинної доводки нових композитів з оптимізацією показників якості оброблення поверхонь тертя деталей машин і механізмів.

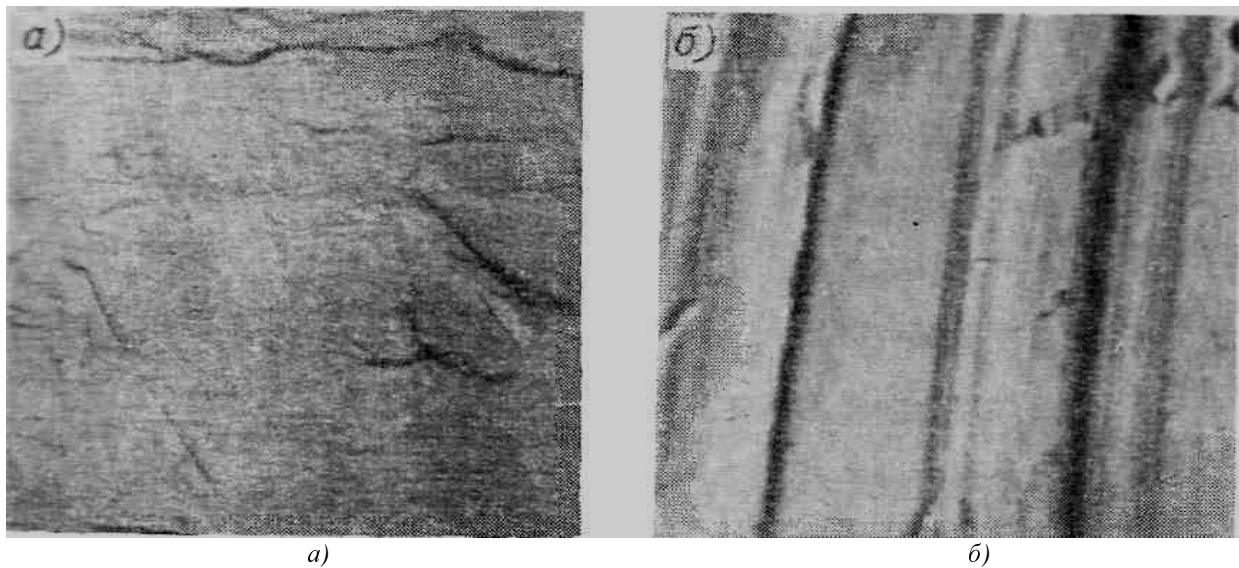
**Результати досліджень.** При доводочних операціях абразивом, що за своєю твердістю перевищує твердість матеріалу оброблення більш ніж у 2 рази, домінуючим є процес механічної руйнації поверхні деталі, яка повинна бути прецизійно оброблена, в результаті її мікрорізання абразивними зернами [6, 9, 17–23]. Ця умова, зазвичай, виконується при обробці деталей машин абразивними матеріалами на основі електрокорунду (32А), карбіду кремнію зеленого (63С), карбіду кремнію чорного (53С), карбіду бора і останнім часом – ельбору звичайної міцності (ЛО) та синтетичного алмазу (АС).

На рисунку 1 наведено мікрофотографії поверхонь (отримані за допомогою електронного мікроскопу) з композиту 85Х6НФТ, що були прецизійно доведені на чавунному притирі абразивним мікропорошком електрокорунду білого зернистістю 14 мкм (32АМ14) і на кінцевій стадії оброблення – мікропорошками карбіду кремнію зеленого зернистістю 5 мкм (63СМ5) до отримання параметра шорсткості  $R_a$  на рівні 0,04–0,16 мкм.

На фотографіях чітко відслідковуються риси та сліди подряпин, як і на поверхнях, що отримані після операцій тонкого шліфування.

Специфічною особливістю мікрорізання, що лежить в основі абразивної обробки, є не зрізання надтонкого шару стружки, а пластичне відтиснення матеріалу композиту до країв канавки подряпин при силевій дії абразивного зерна. Як саме відбуваються пластичні деформації, добре видно у зоні окремих подряпин: при доводці менше пластичного композиту 11РЗАМЗФ (рис. 1, в, з) об'єм відтисненого матеріалу до країв канавки подряпини значно менший, ніж при доводці композитного сплаву 85Х6НФТ (рис. 1, а, б). Відносна величина витисненого з канавки подряпини металу є достатньо суттєвою.

Згідно з існуючими уявленнями, пластичне відтиснення композиту по краях канавки подряпини відбувається при його деформуванні заокругленими гострими скрайберами до деякої певної глибини  $h_{кр}$ , а руйнація, сколювання та стружкоутворення – при досягненні глибини деформування  $h_{кр}$  та більших глибинах занурення скрайбера.



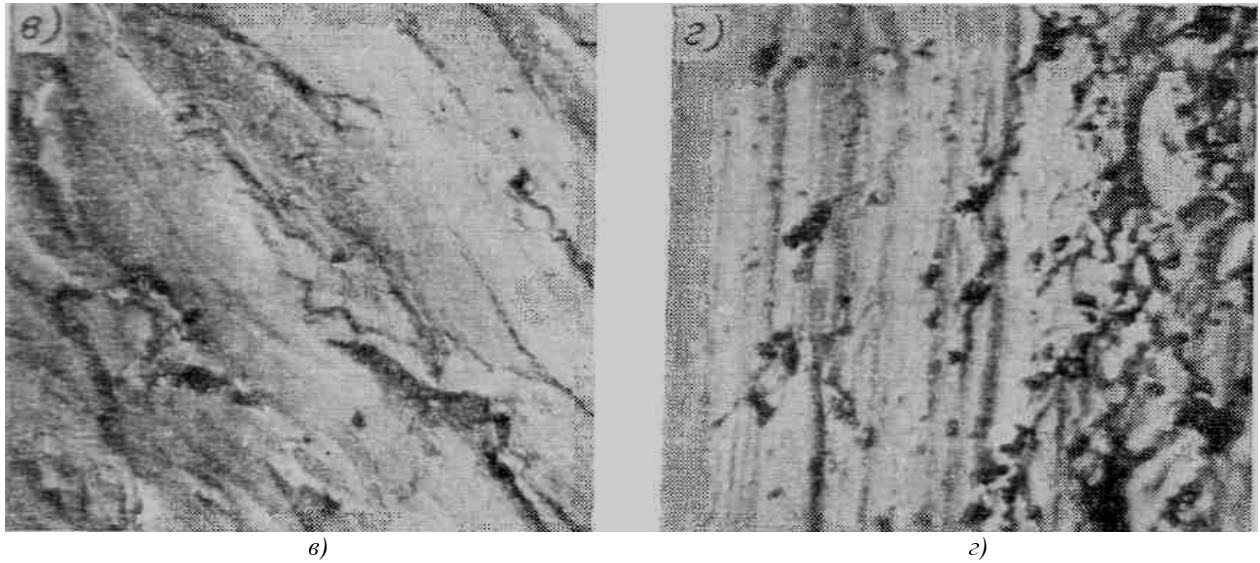


Рис. 1. Електронномікроскопічні фотографії (X5000) поверхонь композитних деталей, що доведені вільним абразивом електрокорунду білого зернистістю 14 мкм (32АМ14) та карбїду кремнію зеленого зернистістю 5 мкм (63СМ5) за умови режимів різання  $V = 2,5$  м/с): а) композиційний сплав 85Х6НФТ (доводка на чавунному притирі мікропорошком 32АМ14 ( $R_a = 0,08-0,16$  мкм)); б) композиційний сплав 85Х6НФТ (доводка на чавунному притирі мікропорошком 63СМ5 ( $R_a = 0,04-0,08$  мкм)); в) – композиційний сплав 11Р3АМ3Ф (доводка на чавунному притирі мікропорошком 32АМ14 ( $R_a = 0,04-0,08$  мкм)); г) – композиційний сплав 11Р3АМ3Ф (доводка на чавунному притирі мікропорошком 63СМ5 ( $R_a = 0,02-0,04$  мкм))

Як показали наші дослідження, процес утворення мікростружок при обробленні високолегованих композитів на основі штампових та інструментальних сталей починається не випадково. У перший період починає руйнуватись у вигляді мікростружки лише досить незначний об'єм металу. Поступово зі збільшенням глибини дряпання, кількість зруйнованого композиту збільшується й одночасно з руйнацією шару композиту (у вигляді мікростружок) частина деформованого матеріалу пластично відтискується до країв канавки подряпини з різним ступенем його зміцнення. Для кількісної оцінки кількості зруйнованого матеріалу нами запропоновано для розрахунків і користування безрозмірний показник – коефіцієнт стружкоутворення композиту  $K_c$ , що дорівнює відношенню об'єму композиту  $V_c$ , що видалено у вигляді мікростружки з поверхні оброблення, до загального об'єму усієї  $V_o$ , тобто:

$$K_c = \frac{V_c}{V_o}. \quad (1)$$

На рисунку 2 наведено графік змін коефіцієнта  $K_c$  при мікрорізанні композиційного сплаву 4ХМФТС, що є одним із найважче оброблюваних високолегованих композитів, синтезованих з відходів штампових та швидкорізальних інструментальних сталей, залежно від глибини подряпини  $h$ .

При малих глибинах (початок стружкоутворення) відбувається пластична деформація матеріалу на поверхні оброблення без його руйнації ( $K_c = 0$ ). Зі збільшенням глибини мікрорізання видаляється лише частина матеріалу у вигляді стружок, а потім (при подальшому збільшенні глибини подряпини  $h$ ) кількість зруйнованого композиту зростає. При певній глибині  $h_0$  значення  $K_c$  досягає найбільшої величини ( $K_{cmax}$ ). Зі збільшенням глибини мікрорізання за межі  $h_0$  відслідковується тенденція до деякого зменшення величини  $K_c$ . витиснений та не перетворений у стружку метал (на рис. 2 форма поперекових перерізів подряпин I, II, III та VI) розташовується по краях канавок подряпин у вигляді навалів.

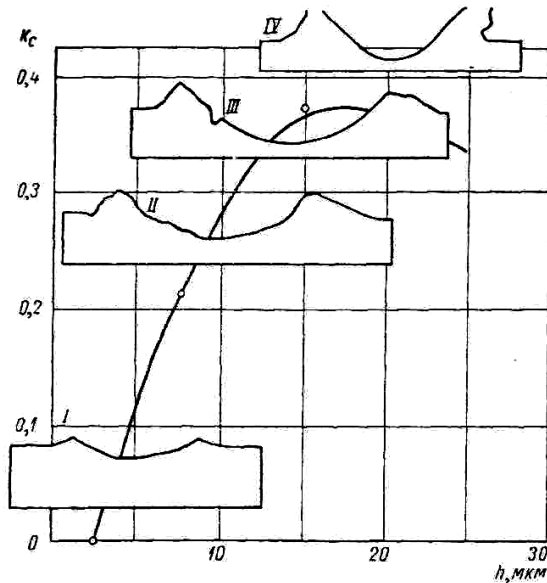


Рис. 2. Зміни коефіцієнта стружкоутворення  $K_c$  залежно від глибини подрятини  $h$  при мікрорізанні композиту 4ХМФТС алмазним скрайбером ( $\rho = 50$  мкм, кут при вершині  $\beta = 90^\circ$ , швидкість різання  $V = 0,3$  м/с) та профілі подрятини в поперековому перерізі:  
I –  $h = 5$  мкм; II –  $h = 10$  мкм; III –  $h = 15$  мкм; IV –  $h = 20$  мкм

Величина коефіцієнта  $K_c$  залежить не лише від глибини подрятини  $h$ , але й від пластичності матеріалу оброблення, геометрії вершини зерна абразивом, мастильно-охолоджуючої рідини, що застосовується при прецизійній машинній доводці деталі з високолегованого зносостійкого композиту, адгезійних властивостей матеріалу абразиву, режимів різання при доводці та інше. Найбільше значення  $K_{c\max}$  (при невеликих швидкостях мікрорізання) для різних марок досліджуваних композиційних сплавів має коливання у достатньо значних межах. У більш крихких композитах, наприклад, Р6М5Ф3 та 85Х6НФТ  $K_{c\max} = 0,8-0,9$ , в той час для більш в'язких сплавів типу 11РЗАМНФТ та 4ХМФТС  $K_{c\max} = 0,3-0,5$ . Це пояснюється майже однаковою швидкістю зрізання припуску на обробку для різних композитів, незважаючи на суттєву різницю їх фізико-механічних властивостей (табл. 1).

Покращення оброблюваності менш пластичних композитів, яке прослідковується при експериментах, може бути пояснене підвищенням коефіцієнта  $K_c$  та суттєвим зменшенням енергетичних витрат на пластичну деформацію композиту. Наприклад, погана оброблюваність шліфуванням композитів типу 4ХМФТС, швидше за все, пояснюється малими значеннями коефіцієнта  $K_c$ . Зниження інтенсивності руйнації композиту при затупленні абразивних зерен під час виконання технологічних операцій прецизійної машинної доводки відбувається, значною мірою, внаслідок збільшення при цьому радіуса заокруглення вершини зерна  $\rho$ , відповідно, зменшення коефіцієнта  $K_c$  при тій самій глибині  $h$ .

На хід протікання деформації композиту під час реалізації технологічного процесу прецизійної машинної доводки суттєво впливає не лише гострота абразивних зерен, що характеризується величиною радіуса заокруглення  $\rho$  їх вершин, але й форма попередньої поверхні кромки зерна. Наприклад, під час мікрорізання з заокругленою вершиною  $K_{c\max} = 0,4-0,53$ , при мікрорізанні з заокругленою кромкою  $K_{c\max} = 0,14-0,19$ .

Для поліпшення оброблюваності композитів необхідно створення умов, які підвищують значення коефіцієнта  $K_c$ , що є специфічним показником оброблюваності плоских поверхонь деталей з високолегованих композитів при їх прецизійній машинній доводці.

Величина  $V_0$  у (1) враховує не весь деформований матеріал, а лише ту його частину, яка є повною складовою теоретичного об'єму подрятини (рис. 3). Щільність дислокацій характеризує інтенсивність протікання деформації залежно від форми і стану передньої кромки різального леза абразивного зерна і, особливо, від ступеня її гостроти. Розташування ямок травлення вздовж лінії ковзання та їх щільність дають уявлення про інтенсивність деформації в окремих різноорієнтованих об'ємах композиту, що знаходяться під дією пластичних деформацій під час мікрорізання.

Згідно з даними вимірювань, зона розповсюдження нових утворень дислокацій при малих глибинах мікрорізання у шість-сім разів, а при більших глибинах – у два-три рази перевищує ширину подрятини. При доводці з питомими тисками на рівні 0,3–0,4 МПа глибина розповсюдження дислокацій складає 600–700 мкм. Результати вимірювань мікротвердості композита у зоні подрятини показали, що товщина наклепаного шару безпосередньо під поверхнею подрятини зазвичай перевищує глибину подрятини у два рази і більше. Таким

чином, об'єм композиту, який підпадає під дію деформації, більше ніж у чотири рази перевищує об'єм подряпини.

Від величини цього об'єму та ступеня деформації, які змінюються залежно від умов мікрорізання, залежить сила опору мікрорізання та інтенсивність стружкоутворення при дії зерен, які багаторазово повторюються та знаходяться у загальному абразивному середовищі під час машинної доводки.

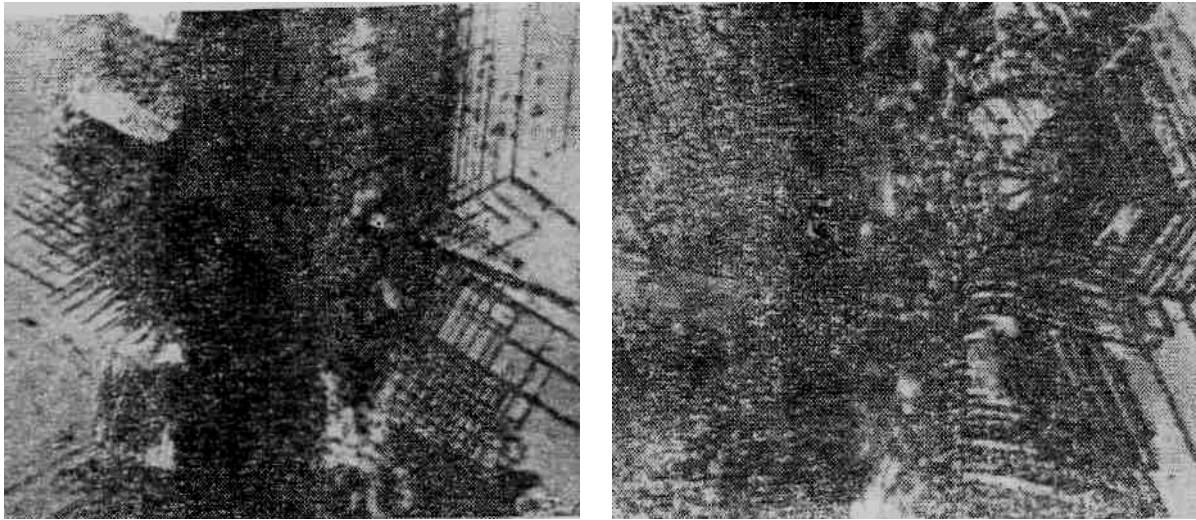


Рис. 3. Дислокаційна структура на поверхні композиційного сплаву Р6М5Ф3 у зоні подряпини ( $\times 400$ ) при мікрорізанні алмазною пірамідою від мікротвердоміра: а) мікрорізання вершиною піраміди ( $P = 2H$ ,  $h = 5$  мкм); б) – мікрорізання ребром піраміди ( $P = 3H$ ,  $h = 5,5$  мкм)

Так, наприклад, при збільшенні мікротвердості (в результаті наклепу) у 1,7–1,8 рази коефіцієнт стружкоутворення  $K_c$  підвищився у 1,6–1,9 рази.

Важливою закономірністю при абразивній прецизійній машинній доводці є механізм саморегулювання процесу. Сутність його полягає у тому, що інтенсивність абразивної руйнації в певних умовах регулюється рівнем ліміту максимальних напружень, що виникають в абразивних зернах при дії сил мікрорізання. При досягненні відповідної глибини мікрорізання  $h_{np}$ , а отже, прийнятної площі поперечного перерізу подряпини  $f_{np}$  відбувається руйнація зерен. Про це свідчить те, що при ретельному й уважному дослідженні процесу доводки високолегованих композитів відзначається явище подрібнення зерен абразиву. Тому з підвищенням параметрів міцності композитного сплаву чи зменшення міцності абразиву суттєво спадає інтенсивність руйнації з одночасним зменшенням параметра шорсткості поверхні  $R_a$ .

Таким чином, сили мікрорізання у процесах машинної абразивної доводки відіграють роль своєрідного регулятора продуктивності оброблення. Найбільш висока продуктивність для певного абразиву досягається при дії сил, які ведуть до утворення напружень, що за своїми значеннями наближаються до рівня граничної міцності зерна. Тому при даному значенні допустимих напружень на зерно найбільша глибина мікрорізання і, відповідно, продуктивність оброблення буде визначатись цілковито опором мікрорізання.

Сили різання, згідно з сучасними уявленнями [5, 7, 9, 18–21, 23], розглядаються як напруження пластичного стискування матеріалу, що залежить від властивостей початкового (вихідного) стану матеріалу та ступеня його пластичного деформування.

Незважаючи на своєрідність процесу прецизійної абразивної машинної доводки, експериментальними дослідженнями показано, що в основі формування сил мікрорізання (при дії поодинокого різального зерна) в абразивних процесах доводки відбуваються ті самі явища, що і при різанні різцями. Своєрідність процесу мікрорізання при машинній доводці високолегованих композитів полягає у більш високому ступені деформації досліджуваного сплаву і виключно значно більшому впливу сил тертя, порівняно зі звичайним різанням. Це є наслідком малих значень перерізів стружок при мікрорізанні та менш прийнятною геометрією різального леза абразивного зерна.

Згідно з дислокаційною теорією, напруження пластичного стискування залежать від сил міжатомних зв'язків металу, величина яких побічно пов'язана з модулем пружності  $E$  та значеннями величини деформації. В [24, 25] показано, що для низки технічно чистих металів існує кореляційний зв'язок між їх твердістю та пружністю ґратки, яка характеризується модулем пружності  $E$  і характеристичною температурою. Численними дослідженнями було встановлено існування залежності для технічно чистих металів між умовним напруженням мікрорізання  $P$  (тангенційна сила, що віднесена до одиниці площі поперечного перерізу подряпини) та модулем пружності  $E$ . Ця залежність відповідає зазначеним уявленням про зв'язок між параметрами міцності і

напруженнями деформації та може бути визначена (з деякими наближеннями) за допомогою наступного виразу:

$$P = C_p \cdot E^\alpha. \quad (2)$$

Величина  $P$  для даного металу й абразиву залежить від напруження пластичного стискування та сил адгезії. Тому коефіцієнт  $C_p$  та показник ступеня  $\alpha$  залежать від умов мікрорізання. Так при мікрорізанні технічно чистих металів у відпаленому стані гострим алмазним скрайбером (рис. 4)  $C_p = 14 \cdot 10^{-4}$ ,  $\alpha = 1,35$ .

Існування якісно аналогічної рівнянню (2) залежності між умовним напруженням мікрорізання та інтенсивністю абразивної руйнації при доводці від твердості технічно чистих металів і сплавів, а також залежності відносної зносостійкості  $\epsilon$  від модуля пружності  $E$  низки технічно чистих металів свідчить про існування зв'язку інтенсивності руйнації з силами мікрорізання та міцністю технічно чистих металів та сплавів у відпаленому стані.

Характерною особливістю процесу прецизійної машинної доводки високолегованих та важкооброблюваних композитів є те, що кількість енергетичних витрат на корисну роботу зі зрізання припуску добре узгоджується співвідношенням нормальної  $P_y$  та тангенційної  $P_z$  складових сил різання. Рівень співвідношення цих складових для тонких процесів машинної абразивної доводки, на відміну від різання металевими інструментами, завжди більший за одиницю. Зі зменшенням співвідношення  $P_y/P_z$  підвищується кількість корисних витрат на зрізання шару припуску з поверхні оброблення композитної деталі і, відповідно, зменшуються витрати на тертя і в цілому на роботу руйнації.

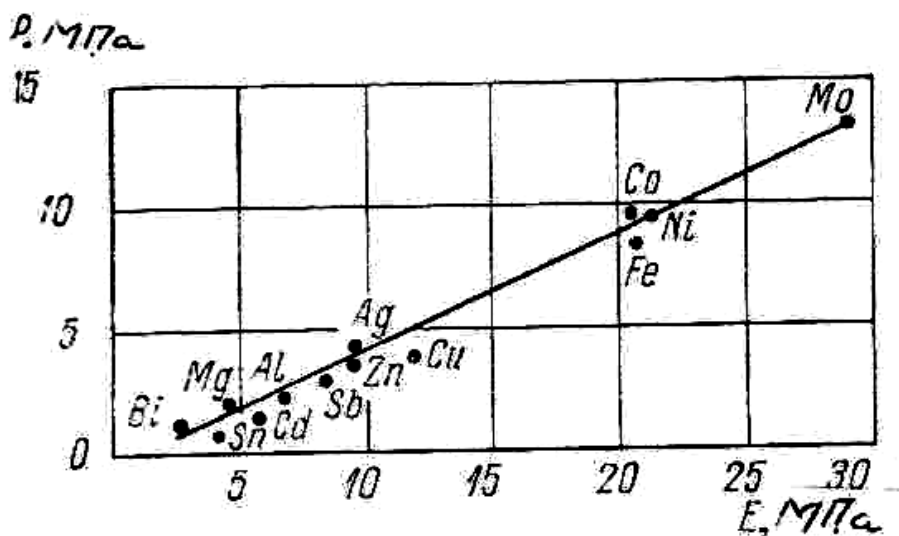


Рис. 4. Зміни умовного напруження  $P$  залежно від модуля нормальної пружності  $E$  при різанні гострим алмазним скрайбером ( $\rho = 22$  мкм;  $h = 5,5-6,0$  мкм;  $V = 3,3$  см/с)

Сутність цього явища полягає у тому, що зі збільшенням глибини мікрорізання і зниженням при цьому співвідношення  $P_y/P_z$  підвищується коефіцієнт стружкоутворення  $K_c$ .

Взаємозв'язок співвідношення  $P_y/P_z$  з відносною глибиною мікрорізання  $h_c = h/\rho$  можна представити у вигляді рівняння:

$$\frac{P_y}{P_z} = \frac{C_a}{h^\beta}, \quad (3)$$

де  $C_a$  – константа;  $\beta$  – показник ступеню, який менший за одиницю (наприклад, при мікрорізанні композиту 4X2B5MФ гострими алмазними скрайберами  $\rho = 13-20$  мкм,  $\beta = 0,35$ ).

При оцінці стану різальних властивостей абразиву, у тому числі і ступеня його затуплення, доцільно користуватися не значеннями зміни сили  $P_z$ , а більш чутливим показником – співвідношенням  $P_y/P_z$ .

Відповідно з експериментальними даними інтенсивність зрізання шару припуску  $q$  при прецизійній машинній доводці композитів можливо визначити наступним рівнянням:

$$q = C_q V P_y^\nu d_s^\delta K^e F^{-m}, \quad (4)$$

де  $C_q$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей зносостійкого композиційного сплаву та абразиву;  $V$  – швидкість переміщення поверхні оброблення по доводочному притиру;  $P_y$  – нормальний тиск у зоні доводки (при використанні зерен електрокорунду хромчастого (33A) з вмістом до 2 % оксиду хрому CrO –  $\nu = 0,7-0,8$ ,

при доводці мікропорошками карбіду кремнію зеленого  $63C - v = 0,8-0,9$ );  $d_3$  – розмір абразивного зерна при прецизійній машинній доводці у середовищі вільного абразиву ( $\delta = 0,5-0,7$ );  $e$  – ступінь впливу концентрації абразиву;  $F$  – площа контакту поверхні, яка повинна бути оброблена прецизійною доводкою;  $m$  – показник ступеня впливу масштабного фактора (при доводці вільним абразивом у складі мастильно-охолоджуючої рідини  $m = 0,3-0,35$ ).

Наведене рівняння дає уявлення щодо впливу основних факторів на продуктивність обробки і можливість управління технологічним процесом прецизійної машинної доводки. При цьому необхідно враховувати, що наведена залежність (4) справедлива і до деяких так званих граничних значень параметрів: для електрокорунду білого хром частого (33А) та карбіду кремнію зеленого (63А) при доводці вільним абразивом до  $P_{\text{нр}} = 0,2-0,45$  МПа; при доводці вільним абразивом до  $d_3 = 0,18-0,25$  мкм та для абразивних середовищ –  $K = 40$  %.

Шорсткість поверхні залежить, здебільшого, від розміру абразивних зерен і може бути визначена наступним рівнянням:

$$R_\alpha = C_R \sqrt{d_3}, \quad (5)$$

де  $C_R$  – величина коефіцієнта, що залежить від міцності композитного сплаву.

Наведені в (4) та (5) закономірності свідчать також про механічну природу руйнації високолегованих зносостійких композитів в умовах дії більш твердого абразиву (порівняно з матеріалом поверхні оброблення).

Інтенсивність зрізання шару припуску  $q$  підвищується у 2–3 рази при додаванні у зону оброблення мастильно-охолоджуючих рідин, зокрема, поверхнево-активних речовин у вигляді олеїнової чи стеаринової кислот. Шорсткість поверхонь при цьому покращується. Доведено, що ефективність дії поверхнево-активних речовин при виконанні технологічних операцій прецизійної машинної доводки зі зменшенням глибини мікрорізання, наприклад, в першу чергу, зі зменшенням зернистості абразивних мікропорошків, підвищується [2, 5].

Отже, дослідження явищ, що виникають у зоні різання поодиноким зерном при прецизійній фінішній доводці, дають можливість глибше пізнати фізичну сутність процесів надтонкого оброблення поверхонь деталей з сучасних високозносостійких композитів і створюють необхідні умови для подальшого покращення технології надтонкої оздоблювальної обробки деталей тертя для сучасних технологічних комплексів.

**Висновки.** Узагальнюючі комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

Вперше в науковій практиці досліджено технологічні процеси прецизійної машинної доводки плоских поверхонь тертя деталей з нових зносостійких високолегованих композиційних сплавів 85Х6НФТ, Р6М5К5, 11РЗМЗФ, Р6М5Ф3, 4ХМФТС, 4Х2В5МФ, що синтезовані на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів штампових та інструментальних сталей і мають у своєму складі як домішки вольфрам, титан, ванадій, молібден, нікель тощо, що відкриває можливості одержання високоякісних деталей тертя з нових композитів для технологічних комплексів. Вивчено особливості процесів мікрорізання при надтонкому обробленні методами машинної доводки нових високолегованих і важкооброблюваних композитів абразивними зернами.

Запропоновані нові підходи для оцінки процесу зрізання мікростружок за допомогою коефіцієнта стружкоутворення, проаналізовано вплив на процеси оброблення нових композитних сплавів розміру зерна абразиву, його геометрії, співвідношення, властивостей (міцності, твердості, пластичності) матеріалів композиту деталі й абразивного мікропорошка. Доведено, що параметри якості поверхні оброблення суттєво залежать від режимів різання при прецизійній машинній доводці та марки абразиву, що застосовують для доводки. Показано, що при прецизійній машинній доводці суттєве значення має співвідношення складових сил різання. З урахуванням наведеного розроблені практичні рекомендації для промислових підприємств і, зокрема, отримані промислово перевірені та впроваджені у виробництво залежності продуктивності оброблення нових композитів від дії технологічних параметрів. Покращення оброблюваності досягається за допомогою поверхнево-активних речовин при прецизійній доводці.

Подальші дослідження технологічних процесів прецизійної машинної доводки доцільно виконувати у напрямку вивчення оброблюваності та отримання високих параметрів якості зносостійких композитних матеріалів з кольорових сплавів (мідь, нікель, алюміній).

#### Список використаної літератури:

1. *Роїк Т.А.* Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : монографія / *Т.А. Роїк, П.О. Киричок, А.П. Гавриш*. – К. : НТУУ „КПІ”, 2007. – 404 с.
2. Оптимізація вибору абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей з легованих титаном композитів для технологічних комплексів / *А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.І. Лотоцька* та ін. // Технологічні комплекси. – № 2 (10). – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – С. 121–131.
3. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів : монографія / *О.А. Гавриш, Ю.Ю. Віцюк, Т.А. Роїк* та ін. – К. : НТУУ „КПІ”, 2012. – 204 с.



4. *Роїк Т.А.* Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні : монографія / *Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш.* – К. : ЕКМО, 2010. – 212 с.
5. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин : навч. посібник / *П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.П. Гавриш* та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 514 с.
6. *Гавриш А.П.* Алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів : монографія / *А.П. Гавриш, П.П. Мельничук.* – Житомир : ЖДТУ, 2003. – 652 с.
7. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов / *Е.Н. Маслов.* – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
8. *Яцерицын П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей / *П.И. Яцерицын.* – Минск : Беларусь, 1989. – 312 с.
9. *Байкалов А.К.* Введение в теорию шлифования / *А.К. Байкалов.* – К. : Наукова думка, 1978. – 207 с.
10. *Маталин А.А.* Технологические методы повышения долговечности деталей / *А.А. Маталин.* – К. : Техника, 1971. – 144 с.
11. *Роїк Т.А.* Обеспечение качества поверхностей деталей из магнитомягких сплавов прецизионной доводкой : монографія / *Т.А. Роїк, П.А. Киричок, А.П. Гавриш* и др. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 233 с.
12. *Кремень З.И.* Применение новых видов микропорошков для окончательной доводки плоскопараллельных концевых мер длины // *З.И. Кремень // Абразивы.* – № 6. – 1981. – С. 45–51.
13. *Кремень З.И.* Методы исследования шаржированной поверхности доводочных притиров / *З.И. Кремень, Р.Л. Певзнер, Т.Ю. Гавронская // Абразивы.* – № 6. – 1993. – С. 34–41.
14. *Соколов С.П.* Тонкое шлифование и доводка / *С.П. Соколов.* – М. : Машиностроение, 1981. – 296 с.
15. *Тигров Т.В.* Новые конструкции доводочных станков / *Т.В. Тигров // Обработка на шлифовальных и доводочных станках.* – М. : Машиностроение, 1989. – С. 54–60.
16. *Филипкин А.Т.* Механизация трудоемких ручных отделочных операций в машиностроении / *А.Т. Филипкин, К.В. Пичета.* – М. : ВИНТИ, 1979. – 211 с.
17. *Рыжов Э.В.* Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / *Э.В. Рыжов.* – К. : Наукова думка, 1984. – 340 с.
18. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. акад. НАН Украины *Н.В. Новикова*, д.т.н. *С.А. Клименко.* – 2-ое перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.
19. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : монографія. В 6 т. / под общ. ред. акад. НАН Украины *Н.В. Новикова.* – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Т. 6 : Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / под ред. *А.А. Шепелева.* – 340 с.
20. *Лавриненко В.І.* Надтверді абразивні матеріали в механообробці : енциклопед. довідник / за заг. ред. акад. НАН України *М.В. Новикова.* – К. : ППМ України, 2013. – 456 с.
21. *Чеповецкий И.Х.* Основы финишной алмазной обработки / *И.Х. Чеповецкий.* – К. : Наукова думка, 1980. – 468 с.
22. Эльбор в машиностроении / под ред. *В.С. Лысанова.* – Л. : Машиностроение, 1978. – 280 с.
23. Основы теории резания материалов : підручник / *М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок* та ін. – Львів : Новий світ, 2010. – 423 с.
24. *Кильчевский Н.А.* Динамическое контактное сжатие твердых тел / *Н.А. Кильчевский, А.О. Логинова.* – К. : Наукова думка, 1976. – 316 с.
25. *Косторнов А.Г.* Триботехническое материаловедение : монографія / *А.Г. Косторнов.* – Луганск : Ноули, 2012. – 701 с.

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.

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.

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.

ЗИГУЛЯ Світлана Миколаївна – старший викладач кафедри технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- технологія поліграфічного машинобудування.

ВІЦЮК Юлія Юліївна – кандидат технічних наук, доцент 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 22.10.2014

**Гавриш А.П., Роїк Т.А., Киричок П.О., Зигуля С.М., Вицюк Ю.Ю.** Особливості прецизійної доводки плоских поверхонь деталей тертя зі зносостійких високолегованих композитів на основі інструментальних сталей для технологічних комплексів

**Гавриш А.П., Роїк Т.А., Киричок П.А., Зигуля С.Н., Вицюк Ю.Ю.** Особенности прецизионной доводки плоских поверхностей деталей трения из износостойких высоколегированных композитов на основе инструментальных сталей для технологических комплексов

**Gavrish A.P., Roik T.A., Kyrychok P.O., Zyhulya S., Vitsiuk I.** Features precision machining of plane surfaces of friction parts from wear-resistance high-alloyed composites on the base of instrumental steels for technological complexes

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

**Features precision machining of plane surfaces of friction parts from wear-resistance high-alloyed composites on the base of instrumental steels for technological complexes / A.P. Gavrish, T.A. Roik, P.O. Kyrychok, S.Zyhulya, I.Vitsiuk**

In the work research of the feature precision machining of plane surfaces of friction parts from wear-resistance high-alloyed composites on the base of instrumental steels tape 85X6HФТ, P6M5K5, 11P3AM3Ф, P6M5Ф3, 4XMФТС, 4X2B5MФ for technological complexes has been presented. The new composite materials are use for printing machine building enterprises and also for machine systems national economy of Ukraine in light and food industries. It was demonstrated the technological factors of fine processes of precision machining development such as cutting parameters, disk's material for machining development, material and granularity of abrasive powders for fine development and also composition of lubricating cooling liquid essentially influence for quality surface's parameters of research parts and productivity of the machining process. It was shown the best results were obtained at using cast iron disk's for finishing precision machining development, at using grains, which have thin radius at top of the grain abrasives. It was developed the recommendation for choice of cutting parameters for fine processes of precision machining development of parts for different technological purpose that are esurience requirements for necessary quality parameters of part's work surfaces.

**Keywords:** new composite materials, friction parts, precision machining, fine-grainy powders, micro-cutting, forces cutting, quality surfaces.

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.3

**Особенности прецизионной доводки плоских поверхностей деталей трения из износостойких высоколегированных композитов на основе инструментальных сталей для технологических комплексов / А.П. Гавриш, Т.А. Роик, П.А. Киричок, С.Н. Зигуля, Ю.Ю. Вицюк**

В статье приведены особенности прецизионной машинной доводки плоских поверхностей деталей трения из износостойких высоколегированных композитов на основе инструментальных сталей типа 85X6HФТ, 11P3AM3Ф, P6M5K5, P6M5Ф3, 4XMФТС, 4X2B5MФ для технологических комплексов предприятий полиграфического машиностроения, а также станковых систем легкой и пищевой отраслей народного хозяйства Украины. Доказано, что на параметры качества поверхности обработки оказывают существенное влияние технологические факторы процессов машинной доводки: режимы резания, материал дисков для доводки, материал и зернистость абразивных порошков для финишной обработки, а также состав смазывающе-охлаждающего жидкости.

Показано, что высокие результаты получены применением для финишной прецизионной доводки чугунных дисков с использованием зерен, которые имеют острые радиусы при вершине зерна абразивов.

**Ключевые слова:** абразивы; прецизионная доводка; износостойкие композиты; технологические комплексы.