

**Findings.** Demonstrated the possibility of creating compositions based on polyolefins of controlled wired and performance properties. It has been established that the electrical conductivity of the compositions by adding metal powders increases up to a certain mass-percentage and after this point increases slightly. Adding aluminum and copper in powder form dispersed does not improve the mechanical properties, but significantly reduces the friction on the surface of the polymeric composite material.

**Originality.** Possible to provide polymer composites with metallic fillers which may have certain performance properties.

**Practical value.** It was shown that by composites can be used as a good conductor, since they combine the mechanical properties of plastics and high conductance.

**Key words:** *metal-filled polymer composites, electrical conductivity, aluminum powder, copper powder.*

УДК 621.002.3: 621.89

ГАВРИШ А.П., РОЇК Т.А., ДОРФМАН І.Є., ОЛІЙНИК В. Г.

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут»

### **ВПЛИВ МЕХАНІЗМУ ПРОЦЕСА ХОНІНГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИТИВ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ**

**Мета.** Метою роботи є експериментальне дослідження впливу технологічного процесу хонінгування деталей тертя зі зносостійких композитних сплавів на параметри якості поверхневого шару.

**Методика.** Дослідження виконувались з врахуванням засадничих положень теорії тонкої абразивної обробки деталей машинних комплексів підприємств легкої та харчової промисловості, а також поліграфічної техніки. Обробка деталей виконувалась на прецизійному верстаті HFV-135 (США) дрібнозернистими абразивними брусками на еластичних зв'язках. Зразки для експериментів були виготовлені методами порошкової металургії зі зносостійких композиційних матеріалів, синтезованих на основі використання відходів високолегованих штампових та інструментальних сталей 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, 4ХМФТС і алюмінієвих сплавів АК8МЗч, АК12М2МгН та АМ4,5Кд.

**Результати.** Доведено, що механізм технологічного процесу оздоблювального хонінгування новітніх марок зносостійких композитів суттєво впливає на параметри якості поверхневого шару оброблення деталі. Особливий вплив становлять схема хонінгування, склад абразивного інструменту та режими різання. Показано, що мінімізація цих технологічних факторів сприяє поліпшенню якості обробки.

**Наукова новизна.** Вперше виконано дослідження процесу абразивного хонінгування високо зносостійких та важкооброблюваних композитних матеріалів, створених для забезпечення параметрів надійності та довговічності технологічних комплексів легкої, харчової та поліграфічної галузей народного господарства України.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволяють оцінити вплив технологічних факторів абразивного хонінгування на формування параметрів якості поверхневих шарів деталей тертя з новітніх марок композитів (параметрів шорсткості  $R_a$ , наклепу та глибини його проникнення у поверхневий шар тіла деталі). Розроблені рекомендації для промислового виробництва.

**Ключові слова:** хонінгування, абразивні інструменти, якість поверхні, композити, технологічні комплекси, композити.

**Вступ.** У сучасних машинах легкої та харчової промисловості, а також у конструкціях новітнього обладнання поліграфічної галузі широкого застосовують зносостійкі композиційні матеріали, які одержані з цінної та дешевої сировини – промислових шліфувальних відходів кольорових металів, насамперед, алюмінієвих сплавів, та високолегованих штампових та швидкорізальних сталей, які, на жаль, навіть на сьогодні, здебільше вивозяться у відвали і не використовуються у повторному циклі виробництва.

На основі розгалужених робіт з регенерації та повторного використання у виробничому циклі цих сировинних ресурсів [1 – 6] в останні роки були створені оригінальні композиційні сплави для деталей тертя машин і механізмів технологічних комплексів.

Відомо [1, 2], що композитні сплави застосовують, у першу чергу, для забезпечення параметрів надійності, довговічності та ремонтоздатності деталей тертя, які працюють в умовах жорстких режимів експлуатації. Вказані параметри визначаються, в першу чергу, відповідними властивостями поверхневого шару (шорсткість поверхні, ступінь та глибина наклепу, рівень залишкових напружень), які отримують як результат фінішного оброблення поверхонь тертя деталей різних машинних комплексів. Вони, як правило, забезпечуються технологічними процесами тонкого абразивного оброблення (шліфування, прецизійна доводка, суперфінішування, хонінгування, магнітно-абразивне полірування).

На сьогодні існує достатня кількість літературних джерел, які присвячені дослідженню різних аспектів проблеми забезпечення якості поверхонь деталей тертя різними методами алмазно-абразивного шліфування та механічної прецизійної доводки [2, 5, 7 – 14].

Проте, практично відсутні дослідження оздоблювального хонінгування новітніх марок високолегованих композитів. Це не дозволяє в умовах реального виробництва оптимізувати структурні схеми технологічних процесів, які були б спроможні забезпечити найвищі параметри якості поверхонь деталей тертя сучасних машин і механізмів.

Тому дослідження процесів абразивного хонінгування новітніх композитних сплавів є актуальним питанням, що має безсумнівне наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення для технологів-виробничників сучасних підприємств.

**Постановка завдання.** Завданням роботи було експериментально дослідити вплив технологічного процесу хонінгування деталей тертя зі зносостійких композитних

сплавів на параметри якості поверхневого та розробити рекомендації для промисловості.

**Результати досліджень.** Авторами виконана робота по дослідженню процесу оздоблювального хонінгування композиційних матеріалів, синтезованих на основі відходів штампових та швидкорізальних інструментальних сталей 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, 4ХМФТС і алюмінієвих сплавів АК8МЗч, АК12М2МгН та АМ4,5Кд.

В результаті дослідження була розроблена схема побудови технологічного процесу, здійснено вибір характеристики хонінгувальних брусків та режимів різання, які забезпечують отримання за допомогою хонінгування точності геометричної форми отвору у межах 0,5 – 2 мкм та параметру шорсткості поверхні  $R_a = 0,01 - 0,02$  мкм.

Дослідженнями було встановлено, що в залежності від властивостей композиту, що обробляється і абразивних хонінгувальних брусків технологічний процес хонінгування може здійснюватись по трьом принципово різним схемам.

Перша схема – безперервне самозаточування бруска і відповідно, безперервне різання матеріалу. Ця схема має наступні переваги:

1) можливо зрізати з поверхні оброблення припуск практично будь-якої глибини до досягнення заданої точності розміру і геометричної форми отвору;

2) будь-яка інтенсифікація процесу хонінгування веде до зростання інтенсивності зношування хонінгувального бруска та об'єму зрізання композиту, що створює необхідні умови до здійснення керування технічними засобами процесу абразивного різання;

3) після зрізання мікровиступів шорсткості, що утворились на попередніх технологічних операціях, процес хонінгування стабілізується у часі, що забезпечує отримання стабільних результатів надтонкого оздоблювального оброблення (по зношуванню абразивного бруска і зрізання шару композиту з поверхні деталі розкид результатів експериментів не перевищує 5%);

4) з'являється можливість легко компенсувати нестабільність властивостей композитного сплаву, абразиву хону чи коливань припуска негайною зміною режимів різання.

На сьогодні найбільше розповсюдження отримала друга схема здійснення процесу хонінгування, при якій відбувається поступове зниження питомого тиску на абразивні зерна, зменшення інтенсивності самозаточування бруска і об'єму зрізання композиту з поверхні оброблення деталі, а також поступове зменшення шорсткості. Відтворюємість цих змін на всій партії оброблюваних деталей визначається початковими значеннями параметру шорсткості поверхні  $R_a$ , яка вважається найбільш суттєвим фактором, що, кінець кінців, визначає результати хонінгування.

Основними перевагами цієї схеми реалізації технологічного процесу є можливість отримання мінімальної шорсткості та достатньо висока питома продуктивність. Недоліком цієї схеми хонінгування обумовлені залежністю результатів обробки від початкової шорсткості та коливань розмірів припуска.

Поступове падіння інтенсивності та автоматична зупинка процесу різання (після зрізання початкового припуска) визначають розкид отриманих розмірів деталей у партії оброблення, неможливість достатнього виправлення похибок геометричної форми

отвору, різке зростання трудомісткості при незначному збільшенні припуска на обробку і, головне. Нестабільність отримання параметрів шорсткості, величина яких залежить від часу зупинки процесу хонінгування при досягненні заданого розміру. Якщо обробку виконувати до повної зупинки процесу різання, то коливання розмірів оброблюваної деталі будуть дорівнювати коливанням розмірів заготовки.

Дослідження умов дискретного контакту двох шорстких тіл (брусочок-деталь) при їх взаємному переміщенні у процесі оброблення [15] дозволило дійти до висновку, що поступова зупинка процесу різання в цьому випадку обумовлює поступовий перехід від превалюючого різання та руйнації абразивних зерен до домінуючої пластичної деформації оброблюваної поверхні притупленими абразивними зернами хонінгувального бруска, які на цю мить втратили свою гостроту і працездатність.

На основі аналізу умов, які забезпечують перехід від превалюючої руйнації до домінуючої пластичної деформації, було, що при певній початковій шорсткості та певних властивостях абразивних брусочків у зоні контакту можуть бути створені умови, що забезпечують перехід до пластичної деформації при практично повній відсутності зрізання шару композиту та зношування брусочків [15].

У цьому випадку всі закономірності хонінгування принципово відрізняються від залежностей, що характеризують першу і другу схеми реалізації процесу, і, природно, їх відносять до *третьої схеми* хонінгування.

При експериментальному здійсненні сформульованих умов хонінгування по третій схемі забезпечило зрізання шару композиту з поверхні оброблення деталі меншого за початкову шорсткість при практично повній відсутності зношування брусочків. В цьому випадку найбільш жорсткі умови висуваються до початкової шорсткості. Шорсткість повинна мати таку величину, яку б повністю деформували брусочки заданої зернистості. Наприклад, для отримання параметру шорсткості  $R_a = 0,02 - 0,04$  мкм шорсткість попередньої операції оброблення повинна знаходитися у межах не гірше значення  $R_a = 0,08 - 0,16$  мкм, а для забезпечення параметру шорсткості  $R_a = 0,01 - 0,02$  мкм початкова (вихідна) шорсткість поверхні не може бути гіршою  $R_a = 0,04 - 0,08$  мкм.

Основною перевагою цієї схеми здійснення процесу хонінгування є можливість отримання мінімальної шорсткості (такої ж, як і при повному зупиненні процесу різання по другій схемі) при збереженні точності та геометричної форми оброблюваного отвору деталей.

Незначна залежність результатів хонінгування від умов реалізації процесу (якщо не відбувається перехід до самозаточування брусочка при зміні цих умов) забезпечує високу стабільність результатів, що отримують після оздоблювальної обробки.

На основі аналізу наведених вище схем обробки розроблена побудова технологічного процесу хонінгування з метою отримання отворів підвищеної точності з шорсткістю поверхні по параметру  $R_a$  не гірше  $0,01 - 0,08$  мкм. Для виконання цих задач технологічний процес необхідно здійснити у два етапи.

Перший етап виконується на режимах безперервного самозаточування і має на меті забезпечити необхідну точність розмірів і форми отвору, а також початкову (вихідну) шорсткість, яка може бути повністю деформована на другому етапі.

Другий етап здійснюється по третій схемі та забезпечує отримання шорсткості по параметру  $R_a$  у межах 0,01 – 0,08 мкм при збереженні заданої точності. Таке розподілення задач між окремими технологічними етапами (переходами чи операціями) значно спрощує керування процесом хонінгування з отриманням необхідних високих вимог якості.

Умови реалізації процесу хонінгування, режими різання, характеристики брусків для кожного з вказаних вище композитних сплавів та інші рекомендації, виконання яких забезпечує отримання підвищеної точності з шорсткістю поверхні по параметру  $R_a$  в межах 0,01 – 0,08 мкм, наведені в роботах [2, 5, 16 – 18].

Шорсткість поверхні після оздоблювального хонінгування оцінювалась по параметру  $R_a$  з допомогою прецизійного приладу «Comeca – 1342A» (Франція). Випромінювання інтерференційним методом дозволяє максимально точно визначити шорсткість поверхні оброблення.

Крім вимірювання висоти виступів шорсткості досліджувалась і форма нерівностей (табл. 1).

Таблиця 1

Радіус  $r$  та кут  $\alpha$  при вершині нерівностей на хонінгованій поверхні

Параметр шорсткості поверхні $R_a$ , мкм	Превалююче різання		Домінуюча пластична деформація	
	$r$ , мкм	$\alpha$ , град	$r$ , мкм	$\alpha$ , град
0,16 – 0,24	5,5	160	27	165
0,08 – 0,16	14,0	164	52	171
0,04 – 0,08	30,0	172	100	175
0,02 – 0,04	38,0	177	300	178

Дослідження показали, що найбільш суттєва різниця форми шорсткості має місце у випадку, коли процес хонінгування сутністю формування поверхневого шару. При здійсненні хонінгування в умовах безперервного різання (перша схема) форма нерівностей суттєво гостріша, ніж після хонінгування в умовах домінуючої пластичної деформації. Різні форми шорсткості значно впливають на умови контактування оброблених поверхонь і, головним чином, на площину фактичного контакту, яка визначає рівень контактних напружень і, отже, є однією з найважливіших характеристик оброблюваної поверхні. Найбільш повною характеристикою умов контактування поверхні, що досліджується, є криві опорної поверхні, що відображають площі фактичного контакту  $A_f/A_n$  від відносного зближення  $\varepsilon$  (де  $A_f$  – фактична площа контакту,  $A_n$  – номінальна площа контакту,  $\varepsilon = \alpha/H_{\max}$  – зближення,  $H_{\max}$  – максимальна нерівність поверхні, яка досліджується).

На основі застосування дисперсійного аналізу було встановлено, що форма опорної кривої, побудованої у відносних величинах, залежить тільки від схеми здійснення процесу хонінгування і залежить від режимів різання і параметрів шорсткості.

На рис. 1 наведені криві опорних поверхонь, що побудовані у відносних величинах.

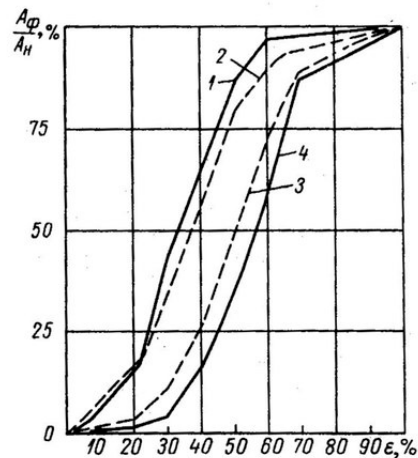


Рис. 1. Криві опорних поверхонь при хонінгуванні зносостійких композитів

Криві 1 і 4 отримані на поверхнях, хонінгованих брусками карбиду кремнію зеленого зернистістю 28 мкм на еластичній гліфталевій зв'язці 63СМ28СМ1Гл (крива 1 – режим домінуючої пластичної деформації,  $V_0 = 88$  м/хв; крива 4 – режим превалюючого різання  $V_0 = 8$  м/хв).

Аналіз графіка показує, що різні форми опорних кривих обумовлені різницею параметрів шорсткості, а різною формою нерівностей та їх розташуванням по висоті, що підтверджується незначною відмінністю опорної кривої 3 ( $R_a = 0,04 - 0,08$  мкм) від опорної кривої 4 ( $R_a = 0,16 - 0,24$  мкм), а від також опорної кривої 2 ( $R_a = 0,02 - 0,04$  мкм), від кривої 1 ( $R_a = 0,04 - 0,08$ ). Зазначимо, що крива 3 це режим самозаточування брусками при хонінгуванні абразивними хонами з карбиду кремнію зеленого зернистістю 7 мкм на керамічній зв'язці (63СМ7М2К), а крива 2 – оброблення тими ж брусками 63СМ7М2К, але в режимі полірування. З рис. 1 також слідує, що при зближенні наприклад, на 30 % поверхні отримані на режимі превалюючого різання, забезпечують втричі меншу площу фактичного контакту у порівнянні з поверхнями, отриманими з домінуючою пластичною деформацією. Як видно з експериментів відмінності показників параметра шорсткості  $R_a$  не відображають різницю у структурі нерівностей поверхонь.

Для отримання характеристик шорсткості, які у більшому ступені відображають зв'язок нерівностей з експлуатаційними властивостями поверхні і з технологічними особливостями їх отримання, у подальшому шорсткість поверхні розглядалась як реалізація процесу випадковості. У зв'язку з тим, що реалізація цього процесу (профілограма поверхні) має вигляд безперервних випадкових коливань навколо деякого середнього значення з приблизною однаковою амплітудою та однаковим характером цих коливань на якій завгодно вільно вибраній ділянці, такий випадковий процес може розглядатись як стаціонарний. Крім того, згідно сенсу вимірювання шорсткості вона (як випадкова стаціонарна функція) має властивості ергодичності, тобто яка завгодно реалізація цієї функції повністю презентує усю сукупність

можливих реалізацій, а це означає, що по профілограмі достатньої довжини можливо давати оцінку про всю шорсткість обробленої поверхні.

Шорсткість поверхні, як випадкова функція, характеризується математичним очікуванням  $\bar{\chi}$  (приблизно дорівнює висоті нерівностей), дисперсією  $Dx(\sqrt{Dx} = r_{\tau} \approx R_d)$  і автокореляційною функцією

$$k_x(\tau) \approx \frac{1}{T-\tau} \int_0^{\tau} x(t)x(t+\tau)dt, \quad (1)$$

де  $T$  – довжина реалізації;  
 $\tau$  – інтервал.

Використання кореляційних функцій шорсткості дозволяє встановити зв'язок між окремими перерізами шорсткості поверхні, надати внутрішню структуру шорсткості та виділити у складі шорсткості закономірних періодичних складових, які можуть бути пов'язані з технологічними особливостями процесу, який забезпечує отримання цієї шорсткості. Зв'язок встановлюємо на основі рівності періода періодичної складової шорсткості і періоду дії того чи іншого технологічного фактора.

Кореляційна функція апроксимується рівнянням

$$\rho(\tau) = Ae^{-\alpha^0(\tau)} + A_1 \cos \frac{2\pi}{T_1} \tau + A_2 \cos \frac{2\pi}{T_2} \tau. \quad (2)$$

Показник цієї функції відображає ступінь послаблення зв'язку між окремими перерізами шорсткості і частотний склад випадкових нерівностей, інакше кажучи, цей коефіцієнт є функцією форми нерівності і їх нерівномірності. Коефіцієнт  $A$  віддзеркалює долю випадкових нерівностей, а коефіцієнти  $A_1$  і  $A_2$  – долю періодичних нерівностей з кроком  $T_1$  і  $T_2$  у загальній дисперсії розподілення цих нерівностей. Таким чином, дослідження кореляційних функцій дозволяє виділити гармонійні складові шорсткості поверхні і їх вклад у загальну дисперсію шорсткості.

Вивчення кореляційних функцій дозволило встановити, що доля закономірних періодичних складових у загальній дисперсії профілю незначна, тобто шорсткість поверхні після хонінгування, в основному, є випадковою величиною. Періодичні складові мають місце тільки при здійсненні хонінгування по першій схемі і майже відсутні при хонінгуванні по третій схемі, коли домінує пластична деформація.

При реалізації хонінгування при першій схемі крок періодичної частини шорсткості пов'язаний з сумарним профілем абразивного бруска, який може бути отриманий шляхом послідовного накладення елементарних профілів на площину, яка є перпендикулярною до вектора швидкості хонінгування.

Шорсткість поверхні є результатом разової дії цього сумарного профілю бруска (хона) і при стабілізованому процесі самозаточування кожна нова дія утворює однакову по величині і по структурі шорсткість. Проте, мала дольова участь періодичної складової шорсткості і, головне, неможливість штучно регулювати форму і структуру елементарного ріжучого профілю, а також взаємне розташування елементарних ріжучих профілів бруска (прикладом такого штучного регулювання сумарного ріжучого профілю є правка абразивних шліфувальних кругів) не дозволяє використати отримані при вивченні корелограмів залежності для керування величиною шорсткості.

Шорсткість поверхні після хонінгування на режимі домінуючої пластичної деформації значно відрізняється від шорсткості, отриманої на режимі самозаточування. Про це свідчать зміни коефіцієнтів формул апроксимації. Шорсткість може мати більш полого форму (зменшення  $\alpha$ ) і майже повна відсутність періодичності (зменшення  $A_1$ ). Відповідні данні наведені у табл. 2.

Вивчення кореляційних функцій дозволило встановити, що шорсткість поверхні, що отримана на режимі полірування, встановлюється не тільки сумарним профілем абразивного бруска, але в значному ступені залежить від суми впливу цього профілю на поверхню оброблення. Про це свідчить і той факт, що за рахунок послідовного пластичного деформування та передформування відбувається накопичення змін у структурі шорсткості, яка стає зі збільшенням часу обробки все більш випадковою.

Таблиця 2

Середні значення показників кореляційних функцій, для поверхонь деталей з композитного сплаву АК12М2МгН на основі алюмінію, що оброблені хонінгуванням

Зернистість бруска	$\tau$ , мкм	$\alpha$ середнє	A	$A_1$	$A_2$	$T_1$ мкм	$T_2$ мкм
Самозаточування							
63С12 СМ2Гл	5	0,14	0,84	0,16	0,05	75	120
63СМ28СМ2Гл	2,5	0,20	0,845	0,155	0,04	33	115
63СМ14СМ2Гл	1,0	0,58	0,84	0,15	0,035	30	–
63ССМ7СМ2Гл	1,25	0,81	0,92	0,08	0,030	8,8	–
Полірування							
63С 12СМ2Гл	5,0	0,04	0,78	0,12	0,10	200	200
63СМ28СМ2Гл	2,5	0,10	0,90	0,04	0,07	17,2	150
63СМ7 СМ2Гл	1,25	0,24	0,896	0,05	0,05	14,0	51

Вивчення форми нерівностей підтвердило її зв'язок з коефіцієнтом  $\alpha$  кореляційної функції.

Після хонінгування в умовах безперервного різання форма нерівностей значно гостріша, ніж після хонінгування в умовах домінуючої пластичної деформації (відповідно коефіцієнт  $\alpha$  менше у 2 – 3 рази).

Таким чином, показники кореляційної функції пов'язані як з технологічним механізмом утворення шорсткості, так і з умовами контактування оброблених поверхонь, тобто з їх експлуатаційними властивостями і несуть значно більше інформації ніж загально прийняті значення параметру  $R_a$ . Тому кореляційна функція шорсткості може бути самостійним об'єктивним інструментом дослідження технологічних процесів.

Дослідження фізичного стану поверхневих шарів високо зносостійких композитів підтвердило коректність висунутої гіпотези про те, що при поступовому чи практично миттєвому зупиненню процесу різання відбувається формування поверхневого шару шляхом домінуючої пластичної деформації нерівностей.

У поверхневому шарі після хонінгування формуються залишкові напруження стискування. При цьому при здійсненні хонінгування по третій схемі ці напруження досягають максимальної величини 600 – 900 МПа, а при хонінгуванні на режимі



різання і безперервного самозаточування – 150 – 400 МПа в залежності від співвідношення процесів різання та пластичної деформації.

Розподіл залишкових напружень окреслюється шаром  $h = 10 - 15$  мкм і максимальні значення напруження мають безпосередньо у поверхні.

У кореляційному зв'язку з залишковими напруженнями відбувається і зміни мікротвердості поверхні та приповерховик шарах композиту. Наклеп при поліруванні досягає значень близько 30 – 40 %, а при самозаточуванні – 15 – 20 % (рис. 2)

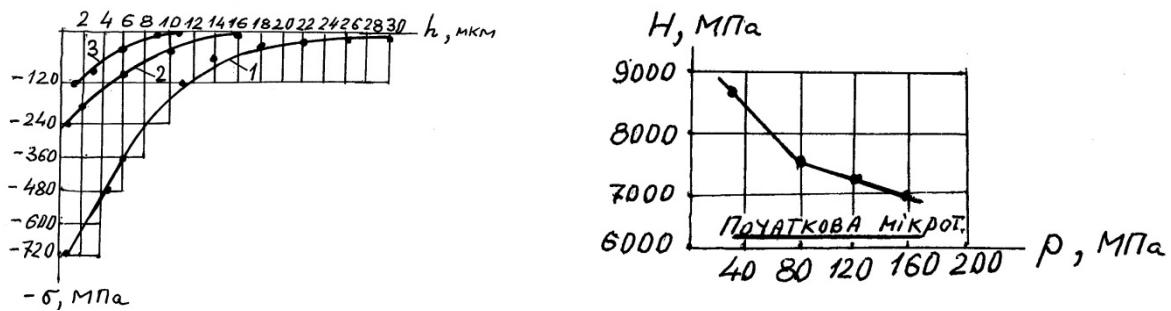


Рис. 2. Зміни залишкових напружень (а) та мікротвердості (б) при хонінгуванні композиту 85Х6НФТ від питомого тиску (брусок 63СМ28СМ2Гл,  $V_0 = 8$  м/хв,  $V_{г-зб} = 6,6$  м/хв):  
 1 –  $p = 40$  МПа (полірування); 2 –  $p = 80$  МПа (самозаточування), 3 –  $p = 160$  МПа (самозаточування)

Дослідженнями встановлено, що підвищення інтенсивності режимів обробки в умовах домінуючої пластичної деформації викликає відповідне збільшення наклепу та залишкових напружень і, навпаки, в умовах дії схеми різання – їх зниження. Це обумовлено тим, що зі збільшенням інтенсивності режиму різання самозаточування хона і зношування бруска відбувається швидше, ніж інтенсивність зрізання композитного сплаву (незалежно від типу композита – на основі алюмінію чи високолегованої сталі), в результаті чого процес різання здійснюється більш гострими зернами і об'єм пластичної деформації зменшується (рис. 3). Це має місце також і при зростанні тиску на режимі самозаточування.

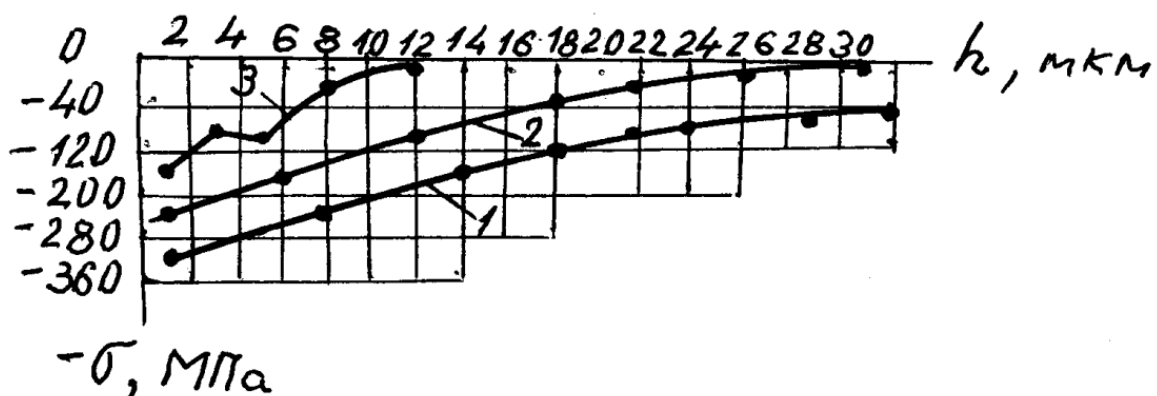


Рис. 3. Зміни залишкових напружень 1-го роду при хонінгуванні алюмінієвих композитів АК8МЗч в залежності від питомого тиску  $P$  і глибини поверхневого шару  $h$  (абразив – 63СМ14СМ1Гл,  $V_0 = 8$  м/хв,  $V_{г-зб} = 6,6$  м/хв): 1 –  $p = 0,4$  МПа; 2 –  $p = 0,8$  МПа; 3 –  $p = 1,6$  МПа

В ході виконання досліджень було показано, що метод рентгеноструктурного аналізу (внаслідок великої глибини проникнення у тіло деталі рентгенівських променів) виявився недостатньо чутливим, щоб зафіксувати зв'язок стану поверхневого шару з режимами різання при хонінгуванні. Методом дисперсійного аналізу була доведена наявність суттєвих відмінностей між зразками зі зносостійких композитів, які були оброблені у відповідності з першою та третьою схемами хонінгування, а також наявність суттєвих змін у поверхневих шарах оброблення деталей, що оброблялись хонінгуванням у порівнянні з початковими (вихідними) показниками заготовок.

Застосування метода електронно-мікроскопічного аналізу дозволило, до речі, зафіксувати (при здійсненні хонінгування по третій схемі) наявність значно більшої деформації, яка, відповідно, зменшує розміри блоків і збільшує щільність ямок травлення.

Результати електронно-мікроскопічного аналізу знаходяться у тісному кореляційному зв'язку зі змінами мікротвердості і залишкових напружень. Також прослідковується їх залежність від зміни режимів різання про реалізації оздоблювального хонінгування. Крім того, електронно-мікроскопічний аналіз при поверхневих шарів оброблених деталей виявив досить цікаве явище – деяке округлення гострих кромek ті мікроподряпин поверхні, подібно до того, як це часто має місце при зміцнююче-оздолювальній обробці методом накатки роликami і кульками та формуванням зносостійкого рельєфу [2, 19].

Зазначимо, що поверхня, яка деформується окремими зернами абразивного бруска, знаходиться у стані, що близький до всебічного стискування, в результаті чого вона набуває підвищену пластичність і намагається утворити стан течії, утворюючи щільний однорідний шар матеріалу, який немов би втрачає свій зерновий стан.

Порівняльні випробування на зносостійкість зразків після оздоблювального хонінгування показали, що зі зменшенням шорсткості поверхні її зношування також пропорційно зменшується.

Найбільш суттєве зменшення зношування тертям відбувається на межі переходу параметра шорсткості  $R_a$  зі значень 0,08 – 0,16 мкм до показників на рівні 0,04 – 0,08 мкм (в цьому випадку зношування зменшується майже у 2 – 2,5 рази). Менш інтенсивно відбувається зношування при переході параметра шорсткості  $R_a$  від значень 0,04 – 0,08 мкм до рівня  $R_a = 0,01 – 0,02$  мкм (відзначено зменшення зношування, наприклад, для композитного сплаву 4ХМФТС, лише на 15 – 17%).

Така різниця показників впливу шорсткості на зношування обумовлена тим, що параметр  $R_a$ , що дорівнює значенням 0,18 – 0,16 мкм, був отриманий хонінгуванням зразків у режимі  $R_a$  у межах 0,01, - 0,04 мкм – хонінгуванням у режимі полірування. Вочевидь, саме зазначене вище значне збільшення площі фактичного контакту та зміщення поверхневого шару для деталей, отриманих на режимі полірування, обумовлене різке зростання зносостійкості.

Порівняння зносостійкості поверхонь оброблених методом оздоблювального хонінгування, зі зношуванням поверхонь, які були оброблені доводкою вільним абразивним зерном [20 – 22] показало, що хонінгування поверхонь з досягненням

параметру шорсткості  $R_a$  у межах 0,01 – 0,08 мкм забезпечує збільшення їх зносостійкості у середньому не гірше ніж у 2 рази.

Таким чином, оздоблювальне хонінгування, одночасно зі значним зменшенням трудомісткості отримання високоточних отворів з параметрами шорсткості поверхні  $R_a = 0,01 – 0,08$  мкм, забезпечує також зростання зносостійкості композитних деталей, що обумовлено суттєво кращою якістю поверхневого шару хонінгованих деталей.

**Висновки.** Узагальнюючі виконані дослідження, необхідно зробити важливі як наукові так і практичні висновки.

1. Вперше виконано теоретико-експериментальне дослідження технологічного процесу надтонкого оздоблювального хонінгування дрібнозернистим абразивними брусками зносостійких деталей тертя машинних комплексів легкої, харчової та поліграфічної галузі народного господарства України, які виготовлені з новітніх марок композитів, синтезованих з шламових шліфувальних відходів високолегованих штамових і швидкорізальних сталей та алюмінієвих сплавів.

2. Запропоновано принципові нові підходи до аналізу процесу формування поверхневого шару деталей тертя з новітніх композитних сплавів методом оздоблювального хонінгування, які дозволяють розглядати різні схеми абразивного оброблення хонами з виділенням процесу різання, пластичного деформування та полірування.

3. Нові схеми для аналізу процесів хонінгування враховують різні технологічні фактори – режими різання, склад абразивного інструменту, послідовність та етапи безпосередньо механічної обробки.

4. Показано вплив на параметри якості поверхневого шару композитних деталей технологічних факторів оброблення з акцентом на досягнення високої якості поверхонь (параметри шорсткості, наклепу, залишкових напружень).

5. Розроблені практичні рекомендації для промисловості з метою суттєвого збільшення, в першу чергу, зносостійкості з забезпеченням вимог високої якості.

6. Подальші дослідження доцільно спрямувати на глибоке вивчення технологічних процесів хонінгування композитних деталей, що синтезовані на основі нікелю та міді.

#### 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. Технологія поліграфічного машинобудування : навч. посіб. / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. В. Шевчук [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 504 с.

3. 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.

4. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів : монографія / О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк [та ін.]. - К.: НТУУ „КПІ”, 2012. –204 с.

5. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин: Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, П. О. Киричок [та ін.]. – К.: НТУУ „КПІ”, 2014. – 507 с.
6. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, П. О. Киричок [та ін.]. – К.: НТУУ „КПІ”, 2014. – 524 с.
7. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
8. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования / А. К. Байкалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.
9. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / А. А. Маталин. – К.: Техника, 1971. – 144 с.
10. Лавриненко В. І. Надтверді абразивні матеріали в механообробі : енциклопедичний довідник / В. І. Лавриненко, М. В. Новіков; за заг. ред. акад. НАН України М. В. Новікова. – К.: Вид. ІНМ ім. В. М. Бакуля, 2013. – 456 с.
11. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. акад. Н. В. Новикова, д-ра техн. наук С. А. Клименко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
12. Соколов С. П. Тонкое шлифование и доводка / С. П. Соколов. – М.: Машгиз, 1981. – 296 с.
13. Кремень З. И. Методы исследования шаржированной поверхности доводочных дисков / З. И. Кремень. – М.-Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
14. Филипкин А. Т. Механизация трудоемких ручных отделочных операций в машиностроении / А. Т. Филипкин, К. В. Пичета. – М.: ВИНТИ, 1979. – 211 с.
15. Віцюк Ю. Ю. Взаємодія алмазно-абразивного бруска з поверхнею композиційного підшипника ковзання поліграфічних машин при формуванні параметрів шорсткості хонінгуванням / Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш // Технологія і техніка друкарства. – 2014. – № 2 (44). – С. 79-102.
16. Вплив технологічних факторів алмазного хонінгування на параметри шорсткості і точності поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Т. А. Роїк [та ін.] // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5. – С. 59-75.
17. Оздоблювальне хонінгування ельборовими брусками прецизійних отворів деталей тертя зі зносостійких високолегованих сплавів на основі алюмінію для друкарських машин / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок [та ін.] // Технологія і техніка друкарства. – 2014. – № 4 (46). – С. 93-102.
18. Вплив технологічних факторів хонінгування на параметри шорсткості і точності поверхонь композитних підшипників ковзання поліграфічних машин / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Т. А. Роїк [та ін.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2014. – Вып. 3 (46) – С. 51 - 61.

19. Гавриш А. П. Зміцнення металевих поверхонь деталей машин та механізмів / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, М. П. Підберезний [та ін.] – К.: Наукова думка, 1995. – 174 с.

20. Прецизійна машинна доводка плоских поверхонь деталей тертя з композитів на основі алюмінію для технологічних комплексів / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, І. Є. Дорфман [та ін.] // Вісник Київського Національного Університету Технологій та Дизайну. – 2014. – № 4 (78). – С. 195 – 211.

21. Залишкові напруження при прецизійній машинній доводці поверхневих шарів деталей зі зносостійких алюмінієвих композитів для поліграфічної техніки / А. П. Гавриш, П. О. Киричок, Т. А. Роїк [та ін.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2014. – Вып. 3 (49). – С. 49-55.

22. Якість поверхні зносостійких композитних деталей тертя поліграфічних машин при прецизійній доводці / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок [та ін.] // Вісник Тернопільського технічного університету. – 2014. – № 4. – С. 31-41.

## **ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИТОВ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**

ГАВРИШ А.П., РОИК Т.А., ДОРФМАН И.Е., ОЛИЙНЫК В. Г.

*Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут»*

**Цель.** Целью работы является экспериментальное исследование влияния технологического процесса хонингования деталей трения из износостойких композитных сплавов на параметры качества поверхностного слоя.

**Методика.** Исследования выполнялись с учетом основополагающих положений теории тонкой абразивной обработки деталей машинных комплексов предприятий легкой и пищевой промышленности, а также для полиграфической техники. Обработка деталей производилась на прецизионном хонинговальном станке HFV-135 (США) мелкозернистыми абразивными брусками на эластичных связках. Образцы для экспериментов были изготовлены методами порошковой металлургии из композиционных материалов, синтезированных на основе использования отходов высоколегированных штамповых и инструментальных сталей 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, 4ХМФТС и алюминиевых сплавов АК8МЗч, АК12М2МгН и АМ 4,5Кд.

**Результаты.** Доказано, что механизм технологического процесса отделочного хонингования новейших марок износостойких композитов существенно влияет на параметры качества поверхностного слоя обработки детали. Особое влияние оказывают схема хонингования, состав абразивного инструмента и режимы резания. Показано, что минимизация этих технологических факторов способствует улучшению качества обработки.

**Научная новизна.** Впервые проведено исследование процесса абразивного хонингования высокоизносостойких и труднообрабатываемых композитных материалов, созданных для обеспечения параметров надёжности и долговечности

технологических комплексов легкой, пищевой и полиграфических отраслей народного хозяйства Украины.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют оценить влияние технологических факторов абразивного хонингования на формирование параметров качества поверхностных слоёв деталей трения из новейших марок композитов (параметры шероховатости, наклёпа и глубины его проникновения в поверхностный слой тела детали). Разработаны рекомендации для промышленного производства.

**Ключевые слова:** *хонингование, абразивные инструменты, качество поверхности, технологические комплексы, композиты.*

## THE INFLUENCE OF THE MECHANISM HONING-PROCESS OF THE DETAILS FROM HIGH WEAR RESISTANCE COMPOSITES ON THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER

GAVRISH A., ROIK T., DORFMAN I., OLIYNIK V.

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*

**Purpose:** The purpose of work is experimental research influence technological process of the honing-process details of the friction from high-resistant composite alloys on the parameters of the quality surface layer.

**Methodology.** The researches have been made with use of base methods of the theory thin abrasive cutting details machinery complexes for light and food industry ,and also printing technics .Machining of the details was made of the precision honing-process equipment HFV -135(USA) with use the hones with thin size of the grain on the elastic bonds. The samples for the experiments were manufactured by powder metallurgy from composite materials were sintezed on the base using of stamp and instrumentals steels - 85X6HФТ,11P3AMФ,4XMФТС and aluminium alloys АК8МЗч,АК12М2МrH and AM 4,5Кд .

**Findings.** It was demonstrated that mechanism of the fine .Honing-process the most new type wear-resistant composites essentially influence on the quality of the surface layer of the machining details .The exclusive influence have been the scheme of the homing-process, the parameters of the cutting .It was shown ,that minimization these technological factors are not going to the most quality machining of the surfaces .

**Originality.** At first was research of the process of the abrasive honing-process high-wear -resistant and hard-machining of the composite materials, which was patent for the esurience the parameters of the reliability and high requirements wear-resistant of the technological complexes for light, food and printing field of industry Ukraine .

**Practical value.** The results of the research may be use for the price of the influence technological factories of the abrasive honing-process on the parameters quality of the surface layers of the details of the friction from most new type composites (parameters of the roughness, cold-work strengthening and his layer in body of details). On the base of research made the recommendation for the industry.

**Keywords:** *honing-process, abrasive instruments, quality of surface, technological complexes, composites.*