

© А. П. Гавриш, д.т.н., професор, Т. А. Роїк, д.т.н., професор,
О. В. Зоренко, к.т.н., доцент, Ю. Ю. Віцюк, к.т.н., доцент,
О. С. Хлус, аспірантка, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**КОНТРОЛЬ НАКЛЕПУ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ
ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН ЗІ ЗНОСОСТІЙКИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА УМОВ НАДТОНКОГО
ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ**

У статті наведені результати дослідження параметрів наклепу за допомогою нового методу — He-Ne лазерним потоком з аналізом форми магнітного поля по напруженості його горизонтальної і вертикальної складових при тонкій фінішній алмазно-абразивній обробці поверхонь деталей тертя з високосносостійких композиційних матеріалів на основі інструментальних сталей, а також на основі нікелю. Показано, що на форму магнітного поля суттєво впливають методи фінішної обробки (тонке алмазно-абразивне шліфування, прецизійна машинна доводка, суперфініш, хонінгування), режими різання нових композитів і параметри абразивного інструменту. Встановлені залежності параметрів магнітного поля від технологічних факторів процесу різання робочих поверхонь тертя деталей з нових композитів на основі нікелю та інструментальних сталей.

Ключові слова: нові композитні матеріали; деталі тертя; якість поверхні; наклеп; магнітне поле; технологічні фактори абразивного різання; рекомендації для промисловості.

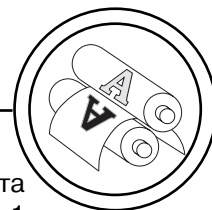
Постановка проблеми

У сучасному машинобудуванні все більш широко застосовуються технологічні процеси викінчувально-оздолювальної обробки, які мають незаперечні переваги порівняно з абразивним шліфуванням, і які дозволяють найбільш економічно отримати прецизійні деталі з високою якістю поверхонь оброблення.

До таких процесів, зокрема, відносять надтонке оздоблювальне шліфування дрібнозер-

нистими абразивними кругами, прецизійну машинну доводку, оздоблювальне хонінгування, прецизійне суперфінішування дрібнозернистими абразивними, алмазними, кубонітовими та ельборовими брусками та магнітно-абразивне полірування феро-керамічними мікропорошками в магнітному полі (магнітно-абразивна обробка — MAO).

При промисловому виробництві сучасних високошвид-



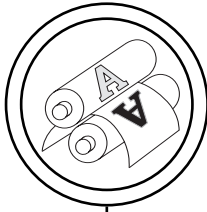
кісних друкарських машин типу КВА «Rapida», «Star Binder 1509», «Wohlenberg trin-tec 560» та інші для виготовлення зносостійких деталей тертя набули широкого розповсюдження нещодавно створені новітні марки високолегованих композиційних матеріалів на основі використання шламових шліфувальних відходів виробництва продукції з високолегованих штампових та швидкорізальних інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ, 11РЗАМЗФ2, 5ХЗВ3МФС, а також деталей з нікелю при їх виготовленні у серійному виробництві електротехнічної, радіотехнічної, авіаційної та аерокосмічної галузей промисловості, зокрема, ХН55ВМТКЮ та ХН50ВТФКЮ [1–3].

Ці матеріали створені для роботи у важких умовах експлуатації (температури поверхонь пар тертя у межах до 850–900° С, питомі навантаження до 4,0–7,0 МПа, активно діюче агресивне середовище — кисень повітря, виробничий пил від використання при виготовленні паперової сировини, абразивна здатність мікропилинок).

Деякі основні властивості нових високолегованих зносостійких композитів на основі інструментальних сталей і нікелевих матеріалів наведені у табл. 1.

Відомо [2–7], що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності, суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя і, в першу чергу, від шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару (величина та ступінь наклепу, глибина розпо-

всюдження його у тіло деталі та інші). Аналізуючи дані табл. 1 слід звернути увагу на те, що композиційні матеріали на основі високолегованих швидкорізальних інструментальних сталей та на основі нікелю, як сплави систем «залізо—нікель—хром» і «нікель—титан—вольфрам—молібден—ванадій—церій», є матеріалами, які за своїми властивостями відносяться до групи магнітнотвердих сплавів, що здатні до перемагнічування у слабких магнітних полях. Саме цю обставину доцільно використати при дослідженні надтонких процесів фінішного викінчувально-оздоблювального оброблення поверхонь тертя деталей, що виготовлені з новітніх марок високозносостійких композитів. Адже, виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [7–20] є аксіомою, що зносостійкість деталей, як поточна з декількох головних параметрів якості поверхонь тертя цілковито залежить від методів та технологічних регламентів надтонкої обробки поверхонь деталей тертя. Тому покращення їх якості хоча б на декілька відсотків суттєво підвищує параметри довговічності і надійності друкарської техніки. Досвід проведення комплексу технологічних досліджень з вивчення закономірностей утворення наклепу при тонкому абразивному, алмазному, кубонітовому та ельборовому шліфуванні, а також при прецизійній машинній доводці плоских поверхонь, суперфінішуванні зовнішніх циліндричних поверхонь, оздоблювальному хонінгуванні



Таблиця 1

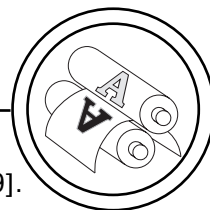
Фізико-механічні та антифрикційні властивості композитів на основі інструментальних сталей та нікелю

Властивості композита	На основі сталей			На основі нікелю	
	7ХГ2ВМФ	11Р3АМ3Ф2	5Х3В3МФС	ХН55ВМТКЮ	ХН50ВТФКЮ
Межа міцності на розтяг, МПа	630	650	550	670	660
Твердість НВ, МПа	930	950	800	850	860
Ударна в'язкість, кДж/м ²	805	790	700	815	820
Коефіцієнт тертя при 5 МПа	0,21	0,20	0,25	0,27	0,29
Інтенсивність зношування при 5 МПа, мкм/км	68*	65*	88*	72**	70**
Гранична температура, °С	750	700	600	880	890
Граничне навантаження, МПа	8,3**	8,1**	8,8**	8,5**	8,6**
Початкова магнітна проникність μ_0 , Гс/Е	7900	7500	8000	10 000	9000
Максимальна магнітна проникність $\mu_{\text{макс}}$, Гс/Е	40000	42000	45000	50000	55000
Коерцитивна сила, А/м	0,0065	0,0060	0,0067	0,005	0,0055
Питомий електричний опір, Ом·мм ² /м	0,80	0,90	0,85	0,70	0,72

Примітка: * — випробування при 100° С; ** — випробування при 250° С; змащування індустріальним мастилом «І-20» в парі з контртілом зі сталі 45 (45–48 НРС).

отворів деталей тертя з композитів на основі нікелю та високолегованих швидкорізальних інструментальних сталей показує, що вимоги до параметрів якості оброблення суттєво зросли. На сьогоднішня мова йде про забезпечення параметрів шорсткості R_a у межах 0,005÷0,040 мкм і глибини наклепу h , що не перевищує значень 1,0÷1,5 мкм. Проте, якщо для досліджень шорсткості повер-

хонь оброблення з вищезазначеними надвисокими параметрами R_a створені і успішно застосовуються сучасні високопрецизійні прилади [18, 20, 21], які (за точністю вимірювань і достовірністю отриманих замірів різних параметрів шорсткості) на декілька порядків перевищують прилади типу «профілограф-профілометр», то справи з вимірювань глибини і ступеню наклепу при надтонкому оброб-



ленні сучасних зносостійких композитів становлять проблему. Дійсно, для досліджень параметрів наклепу широко використовують рентгенографічний аналіз (вивчаються спотворення II-го роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$, ширина лінії рентгенограми В, блоки мозаїки Д), металографічний аналіз (досліджується мікротвердість H_g та ступінь наклепу К) і високочастотне зондування поверхневого шару оброблення з фіксацією параметра зондування C_p [2, 3, 18, 20, 21]. Це — досить розповсюджені у науковій спільноті та промисловості методології. Певні труднощі виникають при дослідженні глибини проникнення наклепу у тіло деталі.

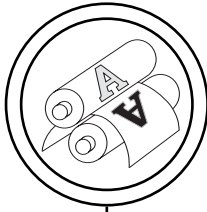
По-перше, необхідно зрізати з поверхні оброблення шар певної товщини і згодом виконати на цьому рівні всі необхідні вимірювання. Так роблять до досягнення шарів матеріалу, які мають початкові («материнські») властивості, які не змінились під дією сил і миттєвих контактних температур при фінішній оздоблювальній обробці деталі. Цей рівень глибини h визначає глибину утворення при обробці наклепу і проникнення їх у тіло деталі.

По-друге, таке визначення глибини наклепу h пов'язане з пошаровим видаленням матеріалу з поверхні (як зазначено вище) і загрожує спотвореннями у результаті вимірювань, які можуть виникнути саме під час зрізання чергового шару з поверхні деталі. Мінімізувати це явище здатне електрохімічне полірування з відповідним скла-

дом електроліту [2, 3, 15–19]. Проте електрохімічне полірування не в змозі забезпечити зрізання шару матеріалу з досліджуваної поверхні з кроком менше $2,0 \div 2,5$ мкм, що співрозмірно із загальною глибиною наклепу, наприклад, при машинній прецизійній доводці. Це не створює необхідних умов для досліджень впливу різних технологічних факторів на параметри наклепу фінішно-оздоблювальних методів надтонкого алмазно-абразивного оброблення поверхонь з новітніх композитів і, перш за все, впливу матеріала абразивного зерна, зернистості, режимів різання, складових сил, миттєвих контактних температур, складу мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) та інше. Знання комплексу цих закономірностей може стати незаперечним підґрунтям для розробки типових технологічних процесів для реально діючого виробництва.

По-третє, зазначені дослідження за своєю сутністю трудомісткі і довготривалі, що негативно впливає на собівартість пошуково-технологічних робіт і не сприяє застосуванню цих методик для налагодження і регулювання ходу виробництва.

Таким чином, виконання робіт з пошуку, створенню, експериментальній перевірці та застосуванню нових методів досліджень з контролю наклепу, як одного з найголовніших параметрів якості поверхонь, постає як важлива науково-технічна задача, позитивне вирішення якої має безумовне наукове і практичне значення.



Мета роботи

Метою даної роботи було проведення пошукових робіт зі створення принципово нової методики неруйнівного контролю глибини наклепу, що утворюється у поверхневих шарах при надтонкій абразивній викінчувально-оздоблювальній обробці деталей тертя поліграфічних машин з нових типів композитних антифрикційних матеріалів, які синтезовані на основі шламових шліфувальних відходів штампових і швидкорізальних інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ, 11Р3АМЗФ2, 5ХЗВ3МФС, а також високолегованих нікелевих сплавів ХН55ВМТКЮ та ХН50ВТФКЮ. Одночасно виконані конструкторські напрацювання приладів для лабораторно-промислових випробувань їх під час вивчення закономірностей утворення наклепу залежно від основних технологічних факторів абразивного оброблення, зокрема, надтонкого алмазно-абразивного шліфування, прецизійної машинної доводки плоских поверхонь, а також оздоблювального суперфінішування циліндричних поверхонь обертання композитних деталей.

Результати проведених досліджень

Авторами статті запропоновано нову методику неруйнівного контролю глибини наклепу поверхонь тертя деталей, що виготовлені з новітніх марок високосносостійких композитів, при дослідженнях технологічних процесів надтонкого фінішного їх оброблення та створено відповідні лабораторні прилади.

Вони дозволяють здійснювати високоточні вимірювання одного з найвпливовіших параметрів зношування при терті контактних пар — глибини наклепу.

В основу розробки нової методики та вимірювального обладнання покладено те, що досліджувані композити на основі нікелю та швидкорізальних інструментальних сталей за своєю фізичною сутністю є магнітнотвердими матеріалами (табл. 1) і здатні до утворення магнітних полів при відповідній дії електричного струму. Їм також притаманні властивості переманітності залежно від наявності чи відсутності слабкого електричного поля.

З урахуванням зазначеного, для технологічних досліджень були виготовлені спеціальні зразки з нових марок зносостійких композитів, що мають (у першому наближенні) форму літери С (рис. 1, а, поз. 1, 3). Плоска поверхня 2 технологічних зразків щільно обробляється у відповідності з образами для цієї мети методом фінішної викінчувально-оздоблювальної обробки (тонким шліфуванням, прецизійною ручною чи машинною доводкою, плоским суперфінішуванням та інше). Попередніми дослідженнями авторів було доведено, що після цього у поверхневих шарах деталі виникають спотворення структури матеріалу і утворюється наклеп [2, 3, 18, 20, 21], який є сумарним результатом одночасної дії у зоні зрізання надтонких стружок пластичних деформацій, складових сил різання і миттєвих контактних температур.

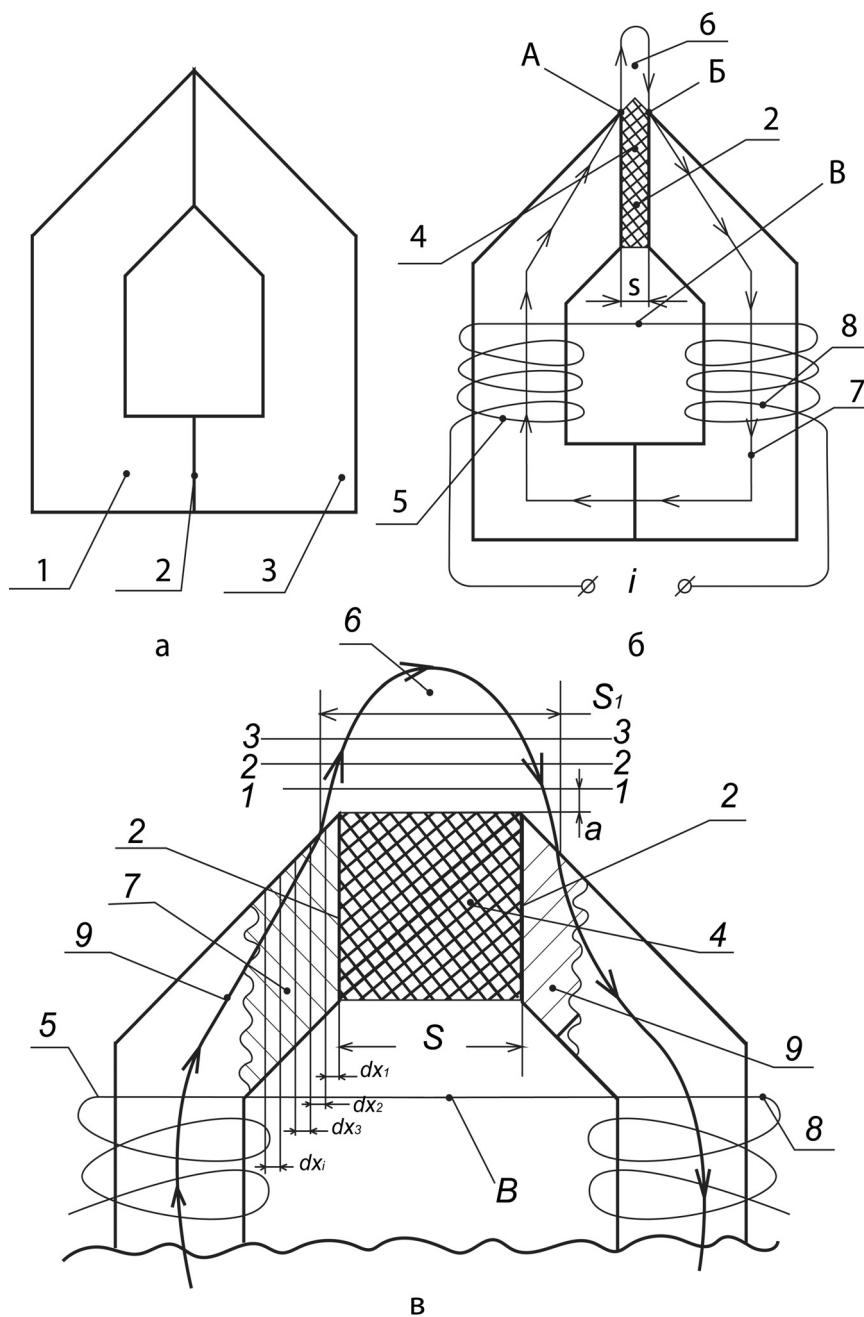
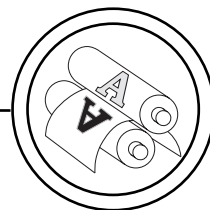
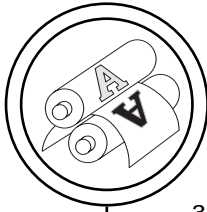


Рис. 1. Структурна схема утворення магнітопровода з технологічних зразків досліджуваних композитів на основі нікелю та інструментальних сталей а — формування магнітопровода з С-подібних технологічних зразків; б — утворення магнітного поля без застосування методів прецизійного оброблення; в — магнітне поле над діамagnetною прокладкою S за наявності наклепу від абразивного оброблення (схема збільшена)



Якщо два технологічних зразка 1 і 3, що мають схожість з літерою С, з'єднати по плоскій поверхні 2 (рис. 1, а), то утвориться магнітопровід замкнутого кільцевого типу.

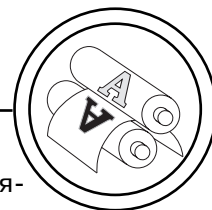
Згідно з новим способом вимірювання параметрів наклепу, який запропоновано авторами статті і, який детально висвітлюється у подальшому, на обидва технологічних зразка 1 та 3 намотується тонкий мідний дріт з необхідною кількістю витків (попередньо розраховується), формуючи при цьому катушки 5 і 8 (рис. 1, б). Кінці катушок з'єднуються припоєм у точці В. На вхідні кінці дроту катушок подається електричний струм невеликої сили (близько 1,5–5 мА). При поєднанні двох технологічних зразків у магнітопровід (найпростіше це можливо здійснити у нескладних та зручних для користування пристроях) між ними встановлюють діамагнітну прокладку з бронзи, слюди чи скла. Ці діамагнетики за своєю фізичною структурою мають великий магнітний опір, що у тисячі разів перевищує магнітний опір магнітопроводу, створеного складанням двох технологічних зразків 1 і 3 з композитних матеріалів на основі швидкорізальних інструментальних сталей та нікелю (табл. 1).

Якщо у катушки 5 і 8 подати електричний струм і, то у магнітопроводі виникне манітне поле 7, що по кільцевій траєкторії замкнеться у досліджуваних зразках 1 і 3. У випадку, коли плоска поверхня 2 обох зразків (рис. 1, а) попередньо не мала хоч якоїсь обробки і якщо між

зразками встановити діамагнітну прокладку 4 завтовшки S мкм, то магнітний потік поля з магнітопроводу вийде у повітря у точці А, сформує магнітне поле 6 і знову зайде до магнітопроводу у точці Б. Магнітне поле виходить у повітря, бо його примушує це зробити прокладка 4 з магнітним опором $\rho > 20000 \div 40000$ Ом/см, у той час як магнітний опір повітря $\rho = 1,0$ (при мінімальному магнітному опорі магнітопроводу, для якого ρ знаходиться у межах $0,00001-0,00005$ Ом/см). Отже, магнітному потоку легше оминати через повітря бар'єр, який створює на його шляху діамагнітна прокладка 4, ніж здолати цей бар'єр. Це віддалено нагадує як вода у гірських річках обходить кам'яні перешкоди (пороги).

Слід особливо підкреслити, що за відсутності механічного оброблення плоских поверхонь 2 технологічних зразків, магнітне поле над прокладкою 4, завтовшки S (найчастіше $S = 5-10$ мкм), зазвичай, буде мати гостру чітку форму, що чітко розташована між точками А і Б.

За наявності на поверхнях 2 досліджуваних технологічних зразків наклепу, глибина якого залежить від методів надтонкого абразивного оброблення, режимів різання, типу абразивного інструмента, його зернистості, складу МОР та інше, характер конфігурації магнітного поля 6 над діамагнітною прокладкою 4 суттєво змінюється (рис. 1, в). Внаслідок наклепу, який обумовлює утворення зон 9 в обох досліджуваних зразках,



при подачі струму з силою і в катушки 5 і 8 у наклепаних зонах відбуваються складні магнітні процеси.

Уявимо собі, що кожна з зон 9 є сукупністю безкінцево тонких ділянок завтовшки $dx_1, dx_2, dx_3 \dots dx_i$ (рис. 1, в). Кожна з цих ділянок має свої магнітні властивості, зокрема, початкову магнітну проникливість $\mu_0, G_c/E_{рст}$.

Згідно загальних законів фізики, магнітні силові лінії магнітного потоку 7, на кожному стику двох різних мікрозон (наприклад, на стиці поверхонь dx_3 з поверхнею dx_2) переломлюються на деякий кут α^0 . Переломлюючись на стиці усіх зон контакту мікроділянок $dx_1, dx_2, dx_3 \dots dx_i$, загальний кут відхилення потоку силових ліній $\alpha^0_{сум}$, кінець кінців, обумовлює вихід їх не на кромках зразка у точках А і Б (рис. 1, б), а значно раніше, утворюючи горизонтальний розмір S_1 бази магнітного поля 6 (рис. 1, в). Тут необхідно звернути увагу на те, що розмір S_1 значно більший ніж фактична товщина діамагнітної прокладки S (іноді навіть різниця сягає 100–120 %). Це і є реальне спотворення конфігурації магнітного поля над антимагнітною прокладкою 4 (рис. 1, в). Тоді $\Delta S = S_1 - S$ і ця різниця є нічим іншим, як глибина наклепу. Останнім кроком у встановленні фактичної глибини наклепу h (по периметру поля ΔS) є безпосереднє вимірювання горизонтальної і вертикальної складової напруженості магнітного поля H , кА/м.

Враховуючи сучасні досягнення лазерної техніки та технологій [22–30], автори прийняли рішення із застосування лазерних променів для вимірювань складових напруженості H магнітного поля над діамагнітною прокладкою S.

Магнітооптичне вимірювання полів над діамагнітними прокладками виконувалось на магнітооптичній установці (рис. 2) згідно методики, запропонованої у роботах [20–22, 26–30]. Сутність методу вимірювань полягає у наступному.

Досліджувані зразки, а також датчик вимірювань встановлюється і прецизійно регулюється у спеціальних високоточних пристроях (ЮТ та ЮД). Всі вимірювання виконуються на інструментальному мікроскопі підвищеної точності МИМ-8МА. Як джерело поляризованого світла використовується He-Ne-лазер безперервної дії ОКГ-11 [20, 25–27, 29, 30].

На блок-схемі (рис. 2) наведені: блок живлення (БЖ) досліджуваних технологічних зразків, фотоприймач (ФП), підсилювач (СУ) та індикатор сигналу (І).

Принцип вимірювань параметрів поля на магнітооптичній установці полягає у наступному. Технологічні зразки, з розділяючою їх діамагнітною прокладкою з розміром S у діапазоні 3–10 мкм, та датчик ЮД налагоджуються з мікронною точністю відносно один до одного, при цьому датчик наближають до поверхні прокладки S на величину до 0,5–1,0 мкм.

Надтонка плівка датчика, знаходячись у магнітному полі

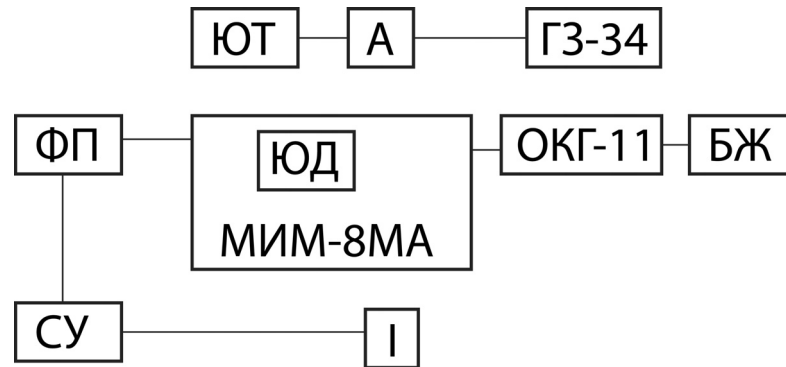
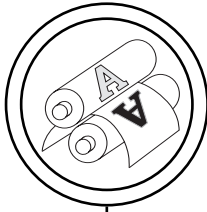


Рис. 2. Блок-схема магнітооптичної установки для вимірювання наклепу композитних матеріалів при надтонкій абразивній обробці: ЮТ — юстировочний пристрій технологічних зразків; ЮД — юстировочний пристрій налагодження датчика з надтонкої плівки заліза; МІМ-8МА — металографічний інструментальний мікроскоп підвищеної точності; ОКГ-11 — гелій-неоновий (He-Ne) лазер з діаметром пучка світла ~ 0,9–1,0 мкм; ГЗ-34 — генератор; А — вимірювач струму; БЖ — блок живлення; ФП — фотоприймач; СУ — селективний підсилювач; І — індикатор напруження

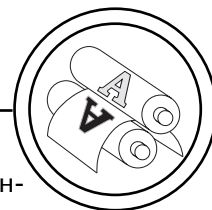
над прокладкою S, залежно від ступеня намагнічування змінює напрямок та інтенсивність поляризованого світлового пучка, який віддзеркалюється від плівки датчика і відповідно фіксується індикатором І. Вимірювання інтенсивності при переміщеннях датчика у просторі над діамагнітною прокладкою технологічних зразків фіксуються з достатньо високою точністю. Калібровочні графіки дозволяють по вимірним величинам визначити напруженість магнітного поля у зоні діамагнітної прокладки у різних точках простору по вертикальним і горизонтальним осям координат.

Переміщуючи датчик вздовж поверхні зразків, розділених антімагнітною прокладкою, віддаляючи чи наближуючи його до досліджуваних технологічних зразків, можливо по сукупності

даних, що отримані при вимірюваннях, встановити характер змін горизонтальної і вертикальної складових форми магнітного поля.

Слід підкреслити, що максимальна розподільна здатність наведеного обладнання складає близько 1 мкм і визначається, в основному, можливостями пучка лазерного випромінювання He-Ne-лазера, а саме безпосередньо мінімальними його діаметрами близько 0,9–1,0 мкм.

Як датчик поля високої розподільчої здатності в експериментальній установці автори використовували напівпрозору плівку заліза з розмірами 2×2×0,1 мм [20, 26, 29]. Що стосується безпосередньо вимірювань глибини наклепу, то завдяки раціонально обраному гелій-неоновому лазеру, що має максимальний діаметр світлового



пучка близько 0,9–1,0 мкм, можливо здійснювати заміри параметрів магнітного поля над поверхнею діамагнітної прокладки S технологічних зразків щонайменше на відстані ~0,5 мкм. Вимірювання виконують у площинах перерізу «1-1», «2-2», «3-3» і так далі з кроком 1,0 мкм (рис. 1, в).

Для лабораторно-виробничих випробувань нової методики досліджень глибини наклепу h і отримання залежностей впливу на h різних технологічних факторів надтонкого абразивного оброблення композитів з нікелю та інструментальної сталі було виконано обробку декількох партій технологічних зразків тонким шліфуванням дрібнозернистими інструментами з карбіду кремнія зеленого 63СМ14СМ2ГЛ та шліфувальними кругами з синтетичних алмазів АСМ14Бр1 100 %, прецизійною машинною доводкою на притирочних дисках прецизійної точності абразивними

мікропорошками електрокорунда хромчастого 33А зі змістом у його складі до 1,8–2,0 % оксиду хрому CrO, ручною доводкою на литих абразивних брусках з карбіду кремнія зеленого 63СМ14Л та дрібнозернистих брусках (1–3 мкм) з мікрокварцитів типу «Індій» (США). Режими різання при обробленні, вимоги до параметрів шорсткості Ra та точності поверхонь оброблення та інші технологічні рішення були застосовані згідно методичних рекомендацій, наведених у роботах [2, 18, 20, 31].

У відповідності з цим вивчалась форма магнітного поля, яка характеризується напруженістю, крутизною падіння та протяжністю на рівні близько 24000 А/м (300 Ерстед), при застосуванні різних методів тонкого абразивного оброблення.

Основні результати виконаних досліджень наведені нижче. Зокрема на рис. 3 показано, як впливає на форму і показники напруженості магнітного поля

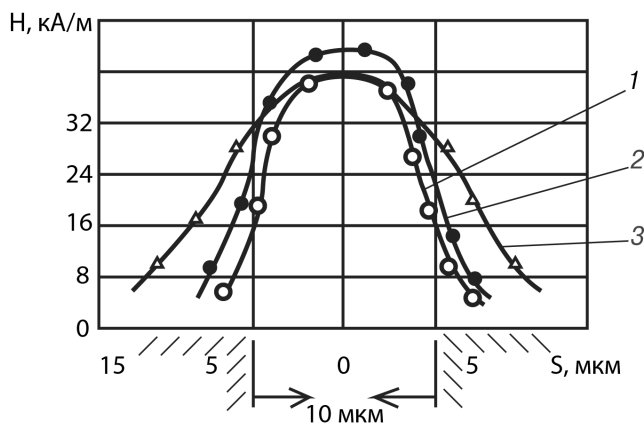
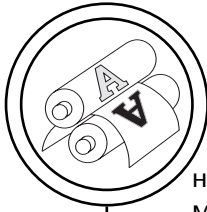


Рис. 3. Горизонтальна складова напруженості магнітного поля H над діамагнітною прокладкою S зразків з композиту ХН55ВТКЮ (при $S = 10$ мкм): 1 — ручна доводка на бруську 63СМ14Л; 2 — шліфування абразивним кругом 63СМ14СМ2ГЛ; 3 — ручна доводка на абразиві «Індій» (США)



над діамагнітною прокладкою S між досліджуваними технологічними зразками з композитів на основі нікелю ХН55ВТКЮ, поверхні тертя яких у відповідності з технологічними регламентами були прецизійно вручну оброблені абразивними литими брусками 63СМ14Л, природними дрібнозернистими мікрокварцитовими брусками «Індій» (США), а також прошліфовані абразивними кругами карбіду кремнія зеленого на еластичній гліфталевій зв'язці 63СМ14ГЛ.

Аналіз даних, наведених на рис. 3, показує (криві 1, 3), що при обробці на вітчизняному литому бруску 63СМ14Л параметри магнітного поля — поліпшуються. При цьому зростає амплітуда поля, підвищується його крутизна (H_s відповідно 32000 і 80000 А/м), зменшується розмитість ділянок на краях поля). При фактичній товщині діамагнітної прокладки S біля 10 мкм протяжність поля на рівні 24000 А/м складає для випадку обробки на абразиві «Індій» (США) — 15 мкм, а для бруска 63СМ14Л — 11 мкм, що у 1,5 рази менше і є свідченням незначної глибини наклепу h. Тонке шліфування кругом 63СМ14СМ2ГЛ також забезпечує прийнятну форму магнітного поля, яка не досить суттєво відрізняється від доводки вручну на брусках 63СМ14Л.

Корисно зазначити, що раніше виконаними авторами дослідженнями [32] було доведено, що глибина наклепу h для випадку обробки композитів на брусках типу «Індій» (США) ста-

новить 20–25 мкм, у той час як шліфування високозносостійких композитів абразивними кругами 63СМ14СМ2ГЛ забезпечує зменшення глибини наклепу h до 10–12 мкм, тобто майже вдвічі. У зв'язку з цим безумовно цікавими є результати вивчення характеру спадання напруженості поля разом з віддаленням лазерного пучка від поверхонь технологічних зразків безпосередньо над діамагнітною прокладкою S. Для випадку ручної доводки нікелевих композитів дрібнозернистим природним абразивним бруском «Індій» (США) характер спадання напруженості поля H більш пологий ніж при тонкому шліфуванні кругом 63СМ14СМ2ГЛ (рис. 4).

На рис. 5 показано, що зі зростанням сили струму і у катушках технологічних зразків (див. рис. 1, в) з 2 до 12 мА збільшується розмитість магнітного поля над діамагнітною прокладкою S для усіх видів абразивної та алмазної обробки.

Так, для ручної доводки на абразиві «Індій» (США) збільшення електричного струму і в катушках технологічних зразків з 2-х до 12 мА збільшує розмитість форми магнітного поля з 14 до 40 мкм, а при тонкому алмазному шліфуванні кругом АСМ14Бр1 100 % збільшення розмитості сягає майже 35 мкм. Аналіз отриманих даних показує, що спочатку має місце різке зростання розмитості поля, а потім відбувається немов би здолання бар'єру наклепаної зони (накоплений шар — насичується), а

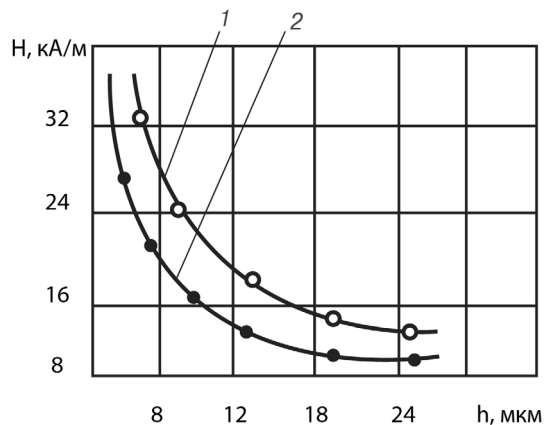
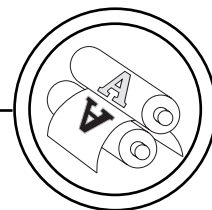


Рис. 4. Залежність напруженості магнітного поля над діамагнітною прокладкою розмежування 2-х досліджуваних технологічних зразків від віддалення лазерного пучка від поверхні композитних деталей зі сплаву ХН55ВТКЮ ($S = 10$ мкм): 1 — шліфування абразивним кругом 63СМ14СМ2Гл; 2 — ручна доводка на абразивному бруску «Індій» (США)

зростання розмитості закінчується (рис. 5).

На рис. 6 показана зміна розмитості форми магнітного поля зі збільшенням частоти електричного струму в катушках досліджуваних технологічних

зразків до 60 кГц. Порівнюючи криву 1 (див. рис. 6) з кривою 2 для випадку алмазного шліфування інструментальних швидко-різальних сталей 11РЗАМЗФ2, нескладно дійти до висновку, що зі зростанням частоти елек-

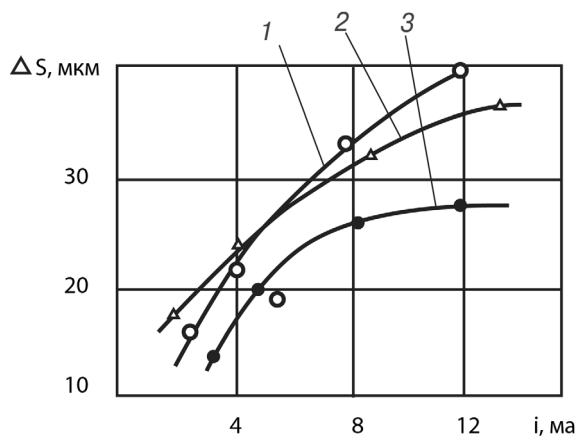


Рис. 5. Залежність показників глибини наклепу ΔS магнітного поля над діамагнітною прокладкою між технологічними зразками з нікелевого композиту від сил електричного струму i : 1 — ручна доводка на бруску «Індій»; 2 — алмазне шліфування кругом АСМ14Бр1 100 %; 3 — ручна доводка на литому бруску 63СМ14Л

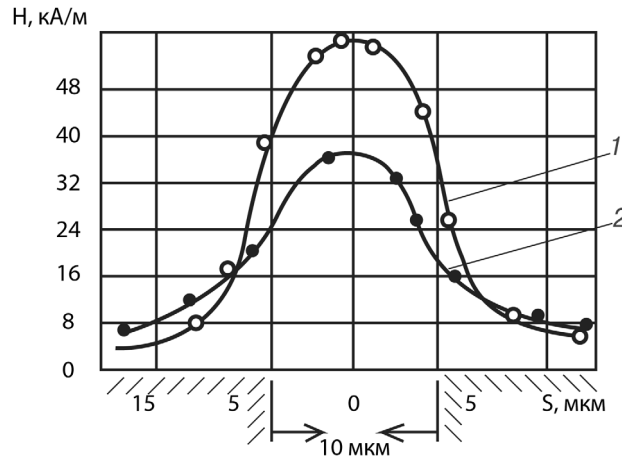
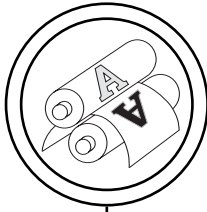


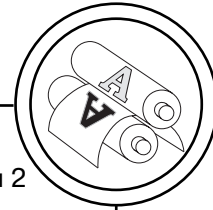
Рис. 6. Горизонтальна складова напруженості H магнітного поля над діамагнітною прокладкою S між досліджуваними технологічними зразками з інструментальної швидкорізальної сталі 11P3AM3Ф2 при частоті електричного струму в катушка $f = 60$ кГц: 1 — тонке абразивне шліфування кругом 63СМ14СМ2ГЛ; 2 — тонке алмазне шліфування кругом з синтетичних алмазів АСМ14Бр1 100 %

тричного струму у катушках технологічних зразків розмітність поля різко зростає. Це може бути пояснено інтенсивною магнітною насичуваністю наклепної зони. Зі збільшенням частоти струму більш наглядними стають переваги тонкого алмазного шліфування (рис. 6). Крутизна поля при алмазному шліфуванні значно краща, ніж при абразивному шліфуванні. Скоріше за все, збільшення крутизни при обробленні алмазними кругами АСМ14Бр1 100 % меншими значеннями глибини і ступеню наклепу порівняно з тонким абразивним шліфуванням кругами з карбїду кремнія зеленого 63СМ14СМ2ГЛ.

Деякі експериментальні дані по прецизійній машинній доводці та її впливу на деформацію магнітного поля наведені в табл. 2, 3.

Аналіз даних таблиць показав, що при машинній доводці деформації магнітного поля менші ніж при ручній доводці на природних та промислових абразивних брусках. Це підтверджується математичним аналізом з допомогою критерія Стюдента [18, 20, 21].

З досліджених методів оброблення прецизійна машинна доводка (після алмазного шліфування) забезпечує найбільшу гостроту магнітного поля, перевищуючи за основними технологічними параметрами форму поля при ручній доводці на найкращих вітчизняних та імпортованих абразивах [18, 20, 21, 31]. Це пояснюється кращою якістю обробки (менший наклеп, більша чистота поверхонь, менші залишкові напруження та інше).



Таблиця 2

Параметри магнітного поля над діамагнітною прокладкою в технологічних блоках з інструментальної сталі 7ХГ2ВМФ для умов їх ручної і прецизійної машинної доводки

№ вибірки	Робочий зазор S, мкм	Спосіб обробки	Глибина наклепу, мкм	Шорсткість поверхні R _a , мкм	Протяжність d поля на рівні 24, кА/м, мкм	Ефективний наклеп, %	Результати статистичного аналізу при t ₀ = 2,77 (порівняння вибірок)
1	10	Ручна доводка на «Індії»	20–25	0,25–0,35	15–17	10	а) 3-й і 1-й t = 4,73
2	10	Ручна доводка на «Індії»	5–8	0,25	11	10–12	б) 3-й і 2-й t = 3,61
3	10	Шліфування 63СМ14СМ2ГЛ	8	0,18	10,5–11,5	3,5–5	в) 4-й і 1-й t = 5,61
4	10	Шліфування АСМ14Бр1 100 %	8	0,15–0,18	10,1–10,2	1–1,2	г) 4-й і 2-й t = 2,83
5	5	Ручна доводка на «Індії»	20–25	0,25–0,35	8	6–8	д) 7-й і 5-й t = 4,13
6	5	Ручна доводка на бруску 63СМ14Т1КЛ	5–8	0,25	6–6,5	10–12	е) 7-й і 6-й t = 3,03
7	5	Шліфування 63СМ14СМ2ГЛ + машинна доводка	8	0,20	3,8–5,5	5–6	ж) 8-й і 3-й t = 6,17
8	5	Шліфування АСМ14Бр1 100 % + машинна доводка	8	0,15–0,20	5,2–5,3	2–3	з) 8-й і 6-й t = 2,87

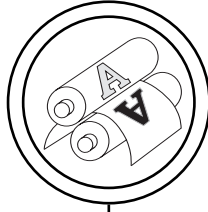
На рис. 7 показана горизонтальна складова Н напруженості магнітного поля, що отримана при обробці композитних деталей з інструментальної сталі 5ХЗВ3МФС.

Аналіз експериментальних даних показує, що на рівні 24 кА/м розмитість поля (при товщині діамагнітної прокладки ~10 мкм) має стабільні значення на рівні 10,5–11,5 мкм (крива 1, рис. 7) за умови прецизійної машинної доводки.

У дослідженнях, які були виконані на перших етапах вив-

чення проблеми залежності якості поверхонь обробки деталей тертя з новітніх композитів для поліграфічних машин від методів і технологічних режимів фінішного алмазно-абразивного оброблення [2, 3, 8, 21, 31], було показано, що на конфігурацію магнітного поля технологічних зразків наклеп впливає у більшому ступені, ніж шорсткість поверхні.

Проведене вивчення приросту ширини поля над діамагнітною прокладкою ΔS залежно від глибини наклепу h, товщини прокладки S і шорсткості



Таблиця 3
Результати кореляційного аналізу між приростом товщини діамантної прокладки (ΔS), глибиною наклепаної зони h та параметрами шорсткості поверхні R_a

Дослід- жувані залеж- ності	Постійні параметри	R_k	σ_r	Оцінка значності коефіцієнта кореляції		Оцінка форми зв'язку			Кореля- ційне рівняння	
				$r_k > 3$	r_0	$r_k > r_0 > 0$	η	$\eta > r_k$		$\xi < 3$
$\Delta S = f(h)$	$S = 10R_a = 0,3-$	0,945	0,26	$3,6 > 3$	0,532	Вико- нано	0,96	$0,96 > 0,945$	1,К3	$\Delta S = ,4h - 2,9$
$\Delta S = f(h)$	$S = 5R_a = 0,3-$	0,983	0,17	$5,8 > 3$	0,602	Вико- нано	0,98	$0,98 > 0,983$	$1,9 < 3$	$\Delta S = ,2h - 2,7$
$\Delta S = f(h)$	$S = 3R_a = 0,3-$	0,981	0,26	$4,5 > 3$	0,706	Вико- нано	0,989	$0,989 > 0,983$	1,97	$\Delta S = ,15h - 0,9$
$\Delta S = f(h)$	$S = 10R_a = 0,8-$	0,29	0,09	$3,2 > 3$	0,21	Вико- нано	0,41	$0,41 > 0,29$	0,37	$\Delta S = ,6h - 5,5$
$\Delta S = f(R_a)$	$S = 10R_a = 5-20$	0,57	0,13	$4,4 > 3$	0,51	Вико- нано	0,73	$0,73 > 0,51$	2,К3	$\Delta S = ,2h - 0,04$

Примітка: У таблиці прийняті наступні позначення математичних символів: r_k — коефіцієнт кореляції; σ_r — середньо-квадратичне відхилення коефіцієнта кореляції; r_0 — критичний коефіцієнт кореляції; η — кореляційне відношення; $r_k/\sigma_r \geq 3$ — умова реальності кореляції; $r_k > r_0 > 0$ — умова реальності існування коефіцієнта кореляції; $\eta > r_k$ — умова лінійності кореляційного зв'язку; ξ — перевірка умови реальності існування лінійності зв'язку [21, 32–34].

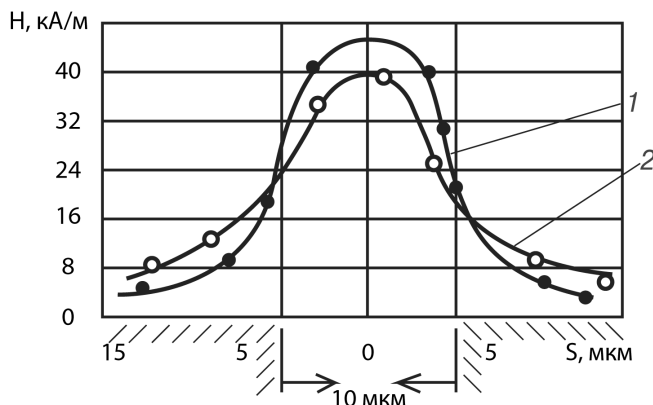
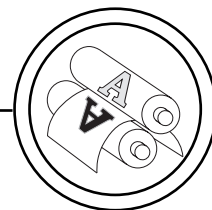


Рис. 7. Горизонтальна складова напруженості H магнітного поля ($S = 10$ мкм) при надтонкій абразивній обробці композитних матеріалів на основі інструментальної сталі 5ХЗВЗМФС: 1 — прецизійна машинна доводка на чавунних притирах послідовно мікропрошарками електрокорунда хромчастого зі змістом у складі оксиду хрому CrO до 2 % послідовно 33АМ5, 33АМ3 і 33АМ1; 2 — тонке абразивне шліфування кругом з карбїду кремнія зеленого на гліфталевій зв'язці — 63СМ14СМ2ГЛ

поверхні методами парної і множинної кореляції [21, 32–34] дозволило встановити ступінь впливу кожного окремого фактора на конфігурацію магнітного поля (табл. 3).

Аналіз усієї сукупності експериментальних даних (табл. 3) показує, що кореляційні залежності $\Delta S = f(h)$, $\Delta S = f(R_a)$ — лінійні. Графічне зображення деяких з цих залежностей наведено на рис. 8.

Безумовно цікавим є порівняння коефіцієнтів рівнянь при показнику h і вільних членів кореляційних співвідношень типу $\Delta S = f(h)$. Із даних табл. 3 стає очевидно, що незалежно від значень реальної товщини прокладки S питома вага вільного члена рівнянь набагато більша ніж функціонально-змінного члена h .

Суворо математично це свідчить про те, що основний вплив на приріст ширини

магнітного поля ΔS має глибина наклепу h .

Усі інші фактори разом взяті (параметр шорсткості R_a , точність оброблення та інші) несуттєво впливають на приріст форми магнітного поля ΔS . Отже, магнітооптичні методи при здійсненні надтонкого дослідження невеликих за формою магнітних полів (їх протяжність — $3 \div 10$ мкм) підтверджують раніше отримані математичні висновки про переважний вплив наклепу на горизонтальну і вертикальну складові напруженості H магнітного поля [35].

До речі, кут нахилу прямих на рис. 8 дозволяє зробити важливий для практики висновок про те, що вплив наклепу на форму магнітного поля є більш суттєвим для тонких діамагнітних прокладок ($S = 3$ мкм), ніж для випадку більш широких їх розмірів ($S = 10$ мкм).

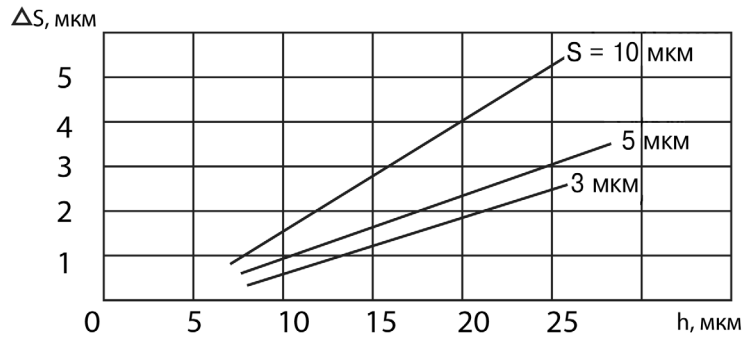
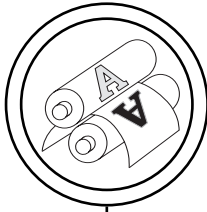


Рис. 8. Залежність приросту ΔS ширини магнітного поля над діамагнітною прокладкою та прокладок S (3 мкм, 5 мкм, 10 мкм)

Математичні розрахунки, що були виконані з використанням теорії множинної кореляції, дозволили встановити кількісні співвідношення між досліджуваними факторами: приростом ширини поля ΔS , глибиною наклепу h , шириною діамагнітної прокладки S та параметром шорсткості поверхні R_a .

Рівняння множинної кореляції для досліджуваних факторів має вигляд:

— для нікелевих композитів ХН55ВМТКЮ і ХН50ВТФКЮ

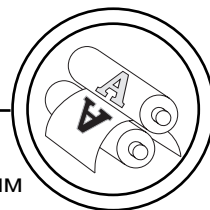
$$\Delta S = 0,268S + 0,446h + 0,583R_a - 6,81$$

— для композитів на основі інструментальних сталей 7ХГ2ВМФ, 11Р3АМ3Ф2 і 5Х3В3МФС

$$\Delta S = 0,217S + 0,398h + 0,457R_a - 6,12$$

Отримані стохастичні рівняння дозволяють за товщиною діамагнітної прокладки S , глибини наклепу h і шорсткості поверхні R_a встановити фактичну глибину наклепаної зони компо-

зитних поверхонь ΔS після виконання надтонких оздоблювальних операцій технологічного процесу фінішного алмазно-абразивного процесу оброблення деталей тертя поліграфічних машин. Саме ці операції (у комплексі з іншими технічними заходами — точність верстатного обладнання, якість технологічних пристроїв, сучасність і рівень точнісних параметрів приладів вимірювання та інше) дозволяють отримати необхідний рівень параметрів якості поверхонь обробки композитних деталей тертя і забезпечити високі тактико-технічні характеристики (зносостійкість, довговічність, надійність, максимальні значення коефіцієнту готовності, ремонтоздатність та інше) сучасної друкарської техніки. Усе це, безумовно, є важливим кроком на шляху розширення ринків збуту виготовленої продукції галузю поліграфічного машинобудування, а також забезпечення споживчого ринку високоякісною продукцією.



Висновки

Узагальнюючи комплекси виконаних досліджень, необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

1. Вперше у науковій практиці запропоновано, конструктивно оформлено, всебічно перевірено та досліджено з доведенням до рівня лабораторно-експериментальної перевірки та промислового випробування з впровадженням у реально діюче виробництво нової методики неруйнівного контролю глибини наклепу, як одного з найважливіших параметрів якості поверхонь тертя деталей з новітніх композиційних матеріалів, шляхом застосування магнітооптичних ефектів з використанням гелій-неонового (He-Ne) лазерного випромінювання.

2. Доведено, що нова методика дозволяє провести вимірювання горизонтальної і вертикальної складових напруженості H магнітного поля, яке формується S -подібними композитними зразками (з розділенням їх діамагнітною тонкою прокладкою завтовшки 3–10 мкм і створенням кільцевого магнітного потоку), для новітніх високолегованих композитів на основі швидкорізальних інструментальних сталей, а також на основі нікелю.

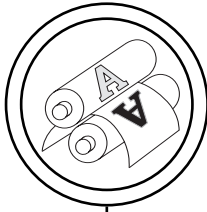
3. Показано, що нова методика магнітооптичних досліджень (із застосуванням у якості оптичного щупа потоку гелій-неонового лазерного випромінювання) дозволяє здійснювати найточніші вимірювання

з максимальним наближенням до поверхонь оброблення ($\sim 0,5$ мкм) і кроком вимірювань $\sim 0,9$ – $1,0$ мкм.

4. Розроблена методика була всебічно перевірена при надтонкому обробленні поверхонь тертя новітніх марок високолегованих, високозносостійких композиційних матеріалів методами тонкого алмазно-абразивного шліфування, ручної доводки на найкращих дрібнозернистих абразивних брусках вітчизняного та закордонного виробництва, прецизійної машинної доводки плоских поверхонь із застосуванням чавунних притирів і мікропорошків електрокорунду хромчастого 33А зі змістом у його складі до 2 % оксиду хрому CrO зернистістю (послідовно) 5, 3 і 1 мкм.

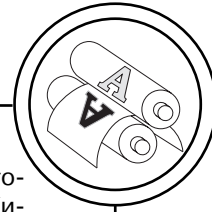
5. Отримані нові дані про глибину утворення наклепу (при різних методах абразивного оброблення), які дозволяють отримати стохастичні рівняння множинної кореляції між досліджуваними факторами широкої гами композитів, що синтезовані як на основі нікелевих сплавів, так і на основі інструментальних швидкорізальних сталей.

6. Подальші дослідження доцільно виконувати з використанням композиційних зносостійких матеріалів на основі алюмінію, міді, штампових сталей та напрямку лазерних магнітооптичних досліджень параметрів шорсткості R_a при різних методах фінішного абразивного оброблення новітніх композитів.



Список використаної літератури

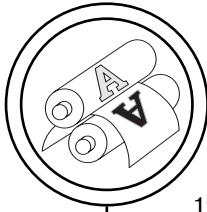
1. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : монографія / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. Роїк Т. А., Киричок П. О., Гавриш А. П. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.
2. Киричок П. О. Технологія поліграфічного машинобудування : навчальний посібник / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. В. Шевчук, А. П. Гавриш, О. І. Лотоцька. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 504 с.
3. Киричок П. О. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : Монографія / П. О. Киричок, Т. А. Роїк., А. В. Шевчук, А. П. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2015. — 427 с.
4. Крагельський І. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. — М. : Машиностроение, 1968. — 478 с.
5. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И. Костецкий. — М. : Машгаз, 1959. — 216 с.
6. Костецкий Б. Н. Надежность и долговечность машин / Б. Н. Костецкий, И. Г. Носковский, Л. И. Бершадский, А. К. Караулов. — К. : Техніка, 1975. — 408 с.
7. Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э. В. Рыжов. — К. : Наукова думка, 1984. — 340 с.
8. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. — М. : Машиностроение, 1974. — 320 с.
9. Рыжов Э. В. Высокоэффективные процессы финишной обработки / Э. В. Рыжов. — К. : Наукова думка, 1987. — 256 с.
10. Ящерицын П. И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей / П. И. Ящерицын. — Минск : Беларусь, 1989. — 312 с.
11. Соколов С. П. Тонкое шлифование и доводка / С. П. Соколов. — М. : Машгиз, 1981. — 296 с.
12. Кремень З. И. Доводка плоских поверхностей / З. И. Кремень. — К. : Техніка, 1974. — 225 с.
13. Фрагин И. Е. Научные основы повышения точности и производительности хонингования : Монография / И. Е. Фрагин. — М. : Машиностроение, 1975. — 320 с.
14. Чеповецкий И. Х. Основы финишной алмазной обработки : Монография / И. Х. Чеповецкий. — К. : Наукова думка, 1980. — 467 с.
15. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. акад. НАН Украины Н. В. Новикова, д.т.н. С. А. Клименко. 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 2014. — 608 с.
16. Лавриненко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробі : Енциклопедичний довідник / під заг. ред. акад. НАН М. В. Новикова. — К. : Вид. ІНМ ім. В. М. Бакуля НАНУ, 2013. — 456 с.
17. Эльбор в машиностроении : Монография (В. С. Лысанов, В. А. Букин, Б. А. Глаговский, З. И. Кремень и др. — Под. общ. ред. В. С. Лысанова — Л-д : Машиностроение, 1978. — 280 с.
18. Киричок П. О. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. — К. : Вид. НТУУ «КПІ», 2014. — 507 с.
19. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л., Залога В. О., Новоселов Ю. К., Якубов Ф. Я. Основы теории резания материалов : Підручник / Під заг. ред. М. П. Мазура. — Львів : Новий світ, 2010. — 423 с.
20. Гавриш А. П. Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів : Монографія / А. П. Гавриш, П. П. Мельничук. — Житомир : Вид. Житомирськ. державн. технологічн. ун-ту ЖДТУ, 2004. — 551 с.



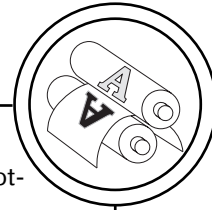
21. Роик Т. А. Обеспечение качества поверхностей деталей из магнитомягких сплавов прецизионной доводкой : Монография / Т. А. Роик, П. А. Киричек, А. П. Гавриш, М. Г. Аскенов, Ю. Ю. Вицюк. — К. : Вид-во НТУУ «КПІ», 2013. — 232 с.
22. Григорянт А. Г. Технологические процессы лазерной обработки / А. Г. Григорянт, И. Н. Шиганов, А. И. Мищуров. — М. : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. — 664 с.
23. Kovalenko V. S., Verkhoturov A. D., Golovko L. F., Podchernjaeva J. A. Lazer surface harding and electric-spark surface harding of materials. — New-York : Plenum Publishing Corp., 1988. — 175 p.
24. Головка Л. Ф. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Л. Ф. Головка, С. О. Лук'яненко. — К. : ВІСТКА, 2009. — 296 с.
25. Котляров В. П. Технологія лазерної обробки : Підручник / В. П. Котляров. — Ніжин : Вид. НДУ ім. М. Гоголя, 2010. — 308 с.
26. Котляров В. П. Лазерна технологія в поліграфії / В. П. Котляров, П. О. Киричок. — К. : Вид. НТУУ «КПІ», 2012. — 324 с.
27. Котляров В. П. Технологічне оснащення лазерних комплексів / В. П. Котляров. — К. : Вид. НТУУ «КПІ», 2013. — 592 с.
28. Котляров В. П. Лазерна розмірна розробка : Навч. посібник / В. П. Котляров. — К. : Вид. НТУУ «КПІ», 2015. — 428 с.
29. Коваленко В. С. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов / В. С. Коваленко. — К. : Вища школа. — Главное изд., 1983. — 176 с.
30. Коваленко В. С. Лазерная технология / В. С. Коваленко. — К. : Вища школа. — Главное изд., 1989. — 280 с.
31. Гавриш А. П. Якість поверхонь зносостійких композитних деталей тертя поліграфічних машин при прецизійній доводці / А. П. Гавриш, Т. А. Роїк, П. О. Киричок, С. М. Зигуля, В. Г. Олійник // Вісник Тернопільського націон. технічн. ун-ту. — 2014. — № 4(70). — С. 126–134.
32. Кутай А. К. Анализ точности и контроль качества в машиностроении / А. К. Кутай, Х. Б. Кордонський. — М. : Машгиз, 1958. — 366 с.
33. Кутай А. К. Статистические методы анализа и контроля качества машиностроительной продукции / А. К. Кутай. — М. : Машгиз, 1979. — 312 с.
34. Таблицы функции распределения и плотностей распределения Стьюдента / Под ред. проф. Н. В. Смирнова. — М. : Изд. АН СССР, 1990. — 228 с.
35. Гавриш А. П. Статистический анализ степени влияния факторов абразивной обработки на пооле рабочего зазора / А. П. Гавриш, Л. А. Солдатенко, Мохан Сринивасан, Т. А. Роик // Сб. : «Резание и инструмент». — Харьков : Изд. ХГПУ «Харьков. политехн. ин-т». — 1999. — № 53. — С. 71–77.

References

1. Roik T. A. Kompozytsiini pidshypnykovi materialy dlia pidvyshchenykh umov ekspluatatsii : monohrafiia / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. Roik T. A., Kyrychok P. O., Havrysh A. P. — K. : NTUU «KPI», 2007. — 404 s.
2. Kyrychok P. O. Tekhnolohiia polihrafichnoho mashynobuduvannia : navchalnyi posibnyk / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. V. Shevchuk, A. P. Havrysh, O. I. Lototska. — K. : NTUU «KPI», 2014. — 504 s.
3. Kyrychok P. O. Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn : Monohrafiia / P. O. Kyrychok, T. A. Roik., A. V. Shevchuk, A. P. Havrysh, lu. lu. Vitsiuk. — K. : NTUU «KPI», 2015. — 427 s.



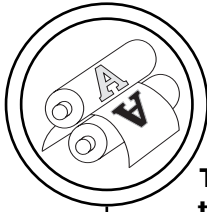
4. Kragel's'kij I. V. Trenie i iznos / I. V. Kragel's'kij. — M. : Mashinostroenie, 1968. — 478 s.
5. Kosteckij B. I. Soprotivlenie iznashivaniju detalej mashin / B. I. Kosteckij. — M. : Mashgaz, 1959. — 216 s.
6. Kosteckij B. N. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin / B. N. Kosteckij, I. G. Noskovskij, L. I. Bershadskij, A. K. Karaulov. — K. : Tehnika, 1975. — 408 s.
7. Ryzhov Je. V. Tehnologicheskie metody povyshenija iznosostojkosti detalej mashin / Je. V. Ryzhov. — K. : Naukova dumka, 1984. — 340 s.
8. Maslov E. N. Teorija shlifovanija materialov / E. N. Maslov. — M. : Mashinostroenie, 1974. — 320 s.
9. Ryzhov Je. V. Vysokoeffektivnye processy finishnoj obrabotki / Je. V. Ryzhov. — K. : Naukova dumka, 1987. — 256 s.
10. Jashhericyn P. I. Progressivnaja tehnologija finishnoj obrabotki detalej / P. I. Jashhericyn. — Minsk : Belarus', 1989. — 312 s.
11. Sokolov S. P. Tonkoe shlifovanie i dovodka / S. P. Sokolov. — M. : Mashgiz, 1981. — 296 s.
12. Kremen' Z. I. Dovodka ploskih poverhnostej / Z. I. Kremen'. — K. : Tehnika, 1974. — 225 s.
13. Fragin I. E. Nauchnye osnovy povyshenija tochnosti i proizvoditel'nosti honingovanija : Monografija / I. E. Fragin. — M. : Mashinostroenie, 1975. — 320 s.
14. Chepoveckij I. H. Osnovy finishnoj almaznoj obrabotki : Monografija / I. H. Chepoveckij. — K. : Naukova dumka, 1980. — 467 s.
15. Instrumenty iz sverhtverdyh materialov / Pod red. akad. NAN Ukrainy N. V. Novikova, d.t.n. S. A. Klimenko. 2-e uzdl., pererab. i dop. — M. : Mashinostroenie, 2014. — 608 s.
16. Lavrynenko V. I., Novikov M. V. Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanooobrobni : Entsiklopedychnyi dovidnyk / pid zah. red. akad. NAN M. V. Novikova. — K. : Vyd. INM im. V. M. Bakulia NANU, 2013. — 456 s.
17. Jel'bor v mashinostroenii : Monografija (V. S. Lysanov, V. A. Bukin, B. A. Glagovskij, Z. I. Kremen' i dr. — Pod. obshh. red. V. S. Lysanova — L-d : Mashinostroenie, 1978. — 280 s.
18. Kyrychok P. O. Finishne obroblennia znosostiukh detalei drukarskykh mashyn / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. P. Havrysh, A. V. Shevchuk, Iu. Iu. Vitsiuk. — K. : Vyd. NTUU «KPI», 2014. — 507 s.
19. Mazur M. P., Vnukov Iu. M., Dobroskok V. L., Zaloha V. O., Novoselov Iu. K., Yakubov F. Ia. Osnovy teorii rizannia materialiv : Pidruchnyk / Pid zah. red. M. P. Mazura. — Lviv : Novyi svit, 2010. — 423 s.
20. Havrysh A. P. Finishna almazno-abrazivna obrobka mahnitnykh materialiv : Monografija / A. P. Havrysh, P. P. Melnychuk. — Zhytomyr : Vyd. Zhytomyrsk. derzhavn. tekhnolohichn. un-tu ZhDTU, 2004. — 551 s.
21. Roik T. A. Obespechenie kachestva poverhnostej detalej iz magnitomjagkih splavov precizionnoj dovodkoj : Monografija / T. A. Roik, P. A. Kirichek, A. P. Gavrish, M. G. Askenov, Ju. Ju. Vicjuk. — K. : Vid-vo NTUU «KPI», 2013. — 232 s.
22. Grigorjant A. G. Tehnologicheskie procesy lazernoj obrabotki / A. G. Grigorjant, I. N. Shiganov, A. I. Micjurov. — M. : Izd. MGTU im. N. Je. Baumana, 2008. — 664 s.
23. Kovalenko V. S., Verkhoturov A. D., Golovko L. F., Podchernjaeva J. A. Lazer surface harding and electric-spark surface harding of materials. — New-York : Plenum Publishing Corp., 1988. — 175 p.
24. Holovko L. F. Lazerni tekhnolohii ta komp'iuterne modeliuвання / L. F. Holovko, S. O. Luk'ianenko. — K. : VISTKA, 2009. — 296 s.



25. Kotliarov V. P. Tekhnolohiia lazernoї obrobky : Pidruchnyk / V. P. Kotliarov. — Nizhyn : Vyd. NDU im. M. Hoholia, 2010. — 308 s.
26. Kotliarov V. P. Lazerna tekhnolohiia v polihrafii / V. P. Kotliarov, P. O. Kyrychok. — K. : Vyd. NTUU «KPI», 2012. — 324 s.
27. Kotliarov V. P. Tekhnolohichne osnashchennia lazernykh kompleksiv / V. P. Kotliarov. — K. : Vyd. NTUU «KPI», 2013. — 592 s.
28. Kotliarov V. P. Lazerna rozmirna rozrobka : Navch. posibnyk / V. P. Kotliarov. — K. : Vyd. NTUU «KPI», 2015. — 428 s.
29. Kovalenko V. S. Tehnologija i oborudovanie jelektrofizicheskih i jelektrohimicheskikh metodov obrabotki materialov / V. S. Kovalenko. — K. : Vishha shkola. — Glavnoe izd., 1983. — 176 s.
30. Kovalenko V. S. Lazernaja tehnologija / V. S. Kovalenko. — K. : Vishha shkola. — Glavnoe izd., 1989. — 280 s.
31. Havrysh A. P. Yakist poverkhon znosostiikykh kompozytnykh detalei tertia polihrafichnykh mashyn pry pretsyziinii dovodtsi / A. P. Havrysh, T. A. Roik, P. O. Kyrychok, S. M. Zyhulia, V. H. Oliinyk // Visnyk Ternopiiskoho natsion. tekhnichn. un-tu. — 2014. — № 4(70). — S. 126–134.
32. Kutaj A. K. Analiz tochnosti i kontrol' kachestva v mashinostroenii / A. K. Kutaj, H. B. Kordons'kij. — M. : Mashgiz, 1958. — 366 s.
33. Kutaj A. K. Statisticheskie metody analiza i kontrolja kachestva mashinostroitel'noj produkcii / A. K. Kutaj. — M. : Mashgiz, 1979. — 312 s.
34. Tablicy funkcii raspredelenija i plotnostej raspredelenija St'judenta / Pod red. prof. N. V. Smirnova. — M. : Izd. AN SSSR, 1990. — 228 s.
35. Gavrish A. P. Statisticheskij analiz stepeni vlijanija faktorov abrazivnoj obrabotki na poole rabocheho zazora / A. P. Gavrish, L. A. Soldatenko, Mohan Srinivasan, T. A. Roik // Sb. : «Rezanie i instrument». — Har'kov : Izd. HGPU «Har'kov. politehn. in-t». — 1999. — № 53. — S. 71–77.

В статье приведены результаты исследования параметров наклепа с помощью нового метода — He-Ne лазерным потоком с анализом формы магнитного поля по напряженности его горизонтальной и вертикальной составляющей при тонкой финишной алмазно-абразивной обработке поверхностей деталей трения из высокоизносостойких композиционных материалов на основе инструментальных сталей, а также на основе никеля. Показано, что на форму магнитного поля существенно влияют методы финишной обработки (тонкое алмазно-абразивное шлифование, прецизионная машинная доводка, суперфиниш, хонингование), режимы резания новых композитов и параметры абразивного инструмента. Установлены зависимости параметров магнитного поля от технологических факторов процесса резания рабочих поверхностей трения деталей из новых композитов на основе никеля и инструментальных сталей.

Ключевые слова: новые композиционные материалы; детали трения; качество поверхности; наклеп; магнитное поле; технологические факторы абразивного резания; рекомендации для промышленности.



The results of the research of cold work hardening with a help of the new method — He-Ne laser stream are presented in this article. Also were presented the analysis results of magnetic field form on its horizontal and vertical components of strength after thin finishing diamond-abrasive surface treatment of highly wear of friction parts made from high wear resistant composite materials on the base of the tool steels and nickel.

It were shown that the form of the magnetic field significantly influence the methods of finishing treatment (thin diamond abrasive grinding, precision lapping machine, superfinish, honing-procession), cutting parameters and parameters of abrasive instrument.

The dependences the influence on the parameters of the magnetic field on the technological factors of cutting process of work friction surfaces of parts from new composites on the base of nickel and tool steels.

Keywords: new composite materials; friction parts; surface quality; wed work hardening parametres; magnetic field; technological factors of abrasive cutting; recommendations for the industry.

Рецензент — О. М. Величко, д.т.н.,
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 20.06.15