

УДК 621.822.1:621.7.09

© А. П. Гавриш, д.т.н., професор, Т. А. Роїк, д.т.н., професор,  
П. О. Киричок, д.т.н., професор, О. О. Мельник, к.т.н.,  
доцент, Ю. Ю. Віцюк, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РЕЛЬЄФИ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ З НОВИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

В статті представлені результати аналітико-теоретичного та експериментального дослідження процесу формування технологічного та експлуатаційного рельєфу поверхонь деталей тертя з нових композитних антифрикційних матеріалів, синтезованих на основі використання утилізованих та регенованих шліфувальних відходів виробництва з високолегованих інструментальних сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ . Показано, що режими різання при абразивному шліфуванні та прецизійній доводці суттєво впливають на формування поверхні тертя деталей з нових композитів. На це також суттєво впливають компоненти вторинних структур, утворених при експлуатації композитів, адсорбція та мастильне середовище. Розроблено рекомендації для виробництва.

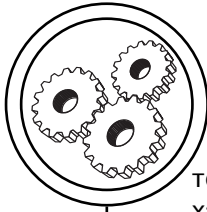
**Ключові слова:** рельєф поверхні тертя; нові композитні сплави; режими різання; зношування деталей; поліграфічні машини.

### Постановка проблеми

Згідно з засадничими положеннями теорії зношування деталей пар тертя у сучасних механізмах та машинах вирішальна роль у забезпеченні показників їх довговічності, зносостійкості та надійності належить рельєфу поверхонь деталей тертя [1–11].

У широкому сенсі у поняття рельєфу поверхні входить не тільки її геометричні характеристики (шорсткість, точність), а і фізичні властивості поверхневого шару (глибина та ступінь наклепу, величина та знак залишкових напружень після механічної обробки) [4–8, 10].

Ці показники формуються на операціях викінчувально-оздоболювального оброблення методами тонкого алмазно-абразивного шліфування та прецизійної доводки [4, 7, 8, 10]. При цьому вимоги до якості поверхонь деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, постійно зростають, що обумовлюється безперервним підвищенням важливих експлуатаційних параметрів поліграфічної техніки і, в першу чергу, суттєвим підвищенням вимог споживачів до якості, кількості та асортименту поліграфічної продукції, а також зростанням



термінів служби деталей, механізмів і у цілому друкарських машин.

Останнім часом для суттєвого збільшення строків експлуатації деталей тертя (в першу чергу, підшипників ковзання) поліграфічної техніки були синтезовані та впровадженні у виробництво нові антифрикційні композиційні матеріали, створені на основі відходів високолегованих штампових та інструментальних сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС, 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ , які здатні успішно експлуатуватись зі швидкостями обертання 800–1000 об/хв. і питомими тисками 2–4 МПа [8, 10, 12–14]. Слід зазначити, що нові композитні сплави були створені для важких умов роботи деталей, коли у зоні тертя температура досягає  $400\text{--}450^\circ\text{C}$  і має місце дія агресивного середовища (кисень повітря, абразивний пил сировини основного виробництва та інше).

Проте зберегти високі триботехнічні властивості матеріалів деталей з нових композитів вдається тільки при умові використання режимів технологічних процесів абразивного оброблення поверхонь тертя деталей, серед яких найважливішими є режими різання, характеристика абразивних інструментів (матеріал зерна, зернистість, тип зв'язки, концентрація зернової фракції), тип змазувально-охолоджуючої рідини, жорсткість системи «верстат—деталь—інструмент» та пов'язані з нею вібрації [4, 7, 8, 13–16].

Усі ці фактори достатньо добре вивчені, що дозволило

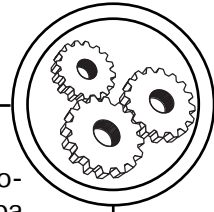
створити технологічні регламенти та типові технологічні процеси.

Обробка металів абразивним різанням супроводжується пластичними деформаціями у зоні зрізання стружки, нагрівом поверхневих шарів деталі до високих температур, фізико-хімічною взаємодією поверхонь оброблення з мастильно-охолоджуючим середовищем та киснем повітря. Тому важливим наслідком технологічних операцій, поряд з утворенням геометрії поверхні, є формування механічних та фізико-хімічних властивостей поверхневого шару. У процесі приробки та при подальшій експлуатації деталі відбувається корінна зміна стану поверхні тертя.

Попередньо створений початковий технологічний рельєф швидко зникає, геометричні параметри поверхні під дією пластичної деформації, утворення вторинних структур та руйнації поверхонь при терті суттєво змінюються. Утворюється нова топографія поверхні [5–11].

На жаль, ці питання (не зважаючи на широке впровадження у виробництві новітніх композиційних сплавів) вивчені недостатньо. Вказане викликає поширення різних технологій, які здебільшого створені відповідно до можливостей того чи іншого підприємства.

Усе це вимагає від науковців і практиків всебічно дослідити процеси формування технологічних та експлуатаційних рельєфів деталей тертя з нових композитних сплавів для поліграфічних машин і на цій основі створити технологічні реко-



мендації для галузі поліграфічного машинобудування, що ілюструє актуальність обраної теми досліджень.

### Мета роботи

Метою даної роботи було виконання досліджень процесу формування рельєфу поверхонь тертя деталей з високолегованих зносостійких композитів, синтезованих на основі використання цінної сировини — шламових шліфувальних відходів штампових та інструментальних сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ , у складі яких є цінні легуючі елементи — вольфрам, молібден, ванадій, нікель, хром, титан та ін.

Саме завдяки цьому новітні типи зносостійких композитних матеріалів здатні забезпечити сучасні вимоги довговічності, надійності та працездатності, що є їх незамінною ознакою для застосування при виготовленні деталей пар тертя для швидкісних поліграфічних машин.

### Результати проведених досліджень

В загальному випадку формування поверхні визначається наступними показниками [1, 5–8]: 1) структурними особливостями побудови твердих тіл; 2) особливостями умов на межі твердого тіла (значенням поверхневої енергії, наявністю та складом адсорбційних шарів); 3) механічними умовами формування поверхонь у процесі тонкої абразивної обробки та експлуатації (викінчувально-оздоблювальне шліфування, прецизійна доводка, супершліфу-

вання, хонінгування, магнітно-абразивне оброблення, епюра залишкових напружень).

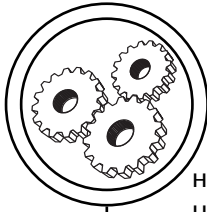
Структурні особливості побудови твердих тіл можуть бути добре відображені теорією дислокації [5–11, 17–19].

У відповідності з базовими положеннями цієї теорії кожне кристалічне тіло характеризується певним типом дислокацій та їх густиною.

Поверхні реального кристалічного тіла є складною системою блоків, фрагментів зерен та звільнень окремих груп дислокацій. Дислокаційна структура в об'ємі конкретного кристалічного тіла реалізується на поверхні цього тіла у вигляді тонкої системи западин та виступів, у той час як поверхня ідеального кристалічного тіла може мати тільки атомну чи молекулярну шорсткість. Таким чином поверхня реального кристалічного тіла має завжди шорсткість, що обумовлена випадковим та недостатньо впорядкованим розташуванням кристалографічних площин. Саме ця шорсткість і є тонким рельєфом чи субмікрорельєфом [2, 7, 10, 11, 19].

Особливості побудови полікристалічних тіл та різних сплавів, які мають гетерогенну структуру, обумовлюють при навантаженні і деформаціях виникнення (поряд з субмікрорельєфом) своєрідного мікрорельєфа, що має неоднорідність по висині виступів та западин на декілька порядків вищу, ніж у субмікрорельєфа [5–9, 19].

У процесі деформації таких твердих тіл взаємні переміщен-



ня можуть відбуватися по границях блоків та зерен.

Найбільш яскраво внутрішня побудова твердих тіл визначається в умовах формування при найпростіших типах рівномірного статичного навантаження об'єму металу.

На рис. 1 показано вільний розвиток фізичного рельєфу на поверхні композитних матеріалів на основі високолегованих інструментальних сталей 86Х6НФТ,

4ХМНФС та 5Х3В3МФС при одному одновісному розтягу металевого зразка. У цьому випадку рельєф утворюється в результаті виникнення процесів здвигу (ковзання, двійникування, відносне переміщення, розвертання зерен та фрагментів).

Особливості умов на межі робочої поверхні визначаються різним станом атомів металу у поверхні і в середині об'єму взагалі. Наслідком цього стає

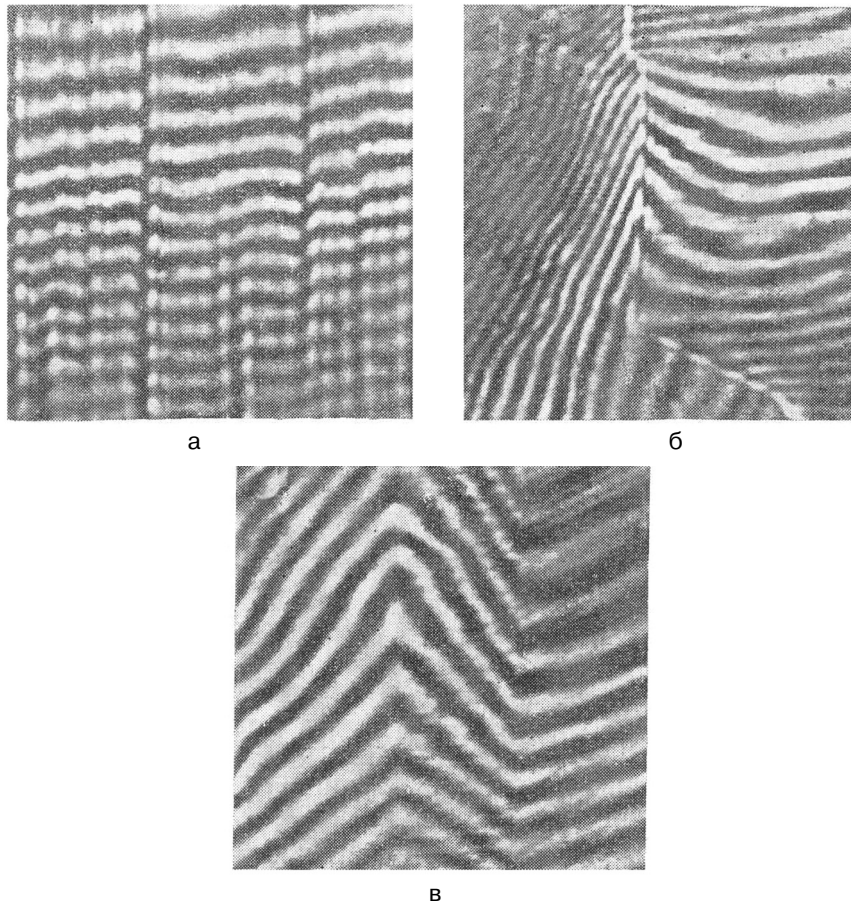
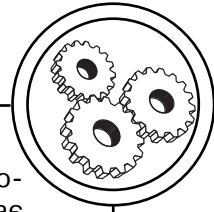


Рис. 1. Розвиток рельєфу на поверхні композитних матеріалів, які деформовані розтягом ( $\times 290$ ): а — на лініях ковзання композиту на основі сталі 86Х6НФТ,  $E = 17\%$ ; б — на границі суміжних зерен композиту на основі сталі 4ХМНФС; в — на границі фрагментів композиту на основі сталі 5Х3В3МФС



наявність поверхневої енергії і значна адсорбційна активність.

Фізично чиста чи ювенільна поверхня металу, яка має високу здатність до адсорбції при контакті з газоподібним чи рідким середовищем, виступає з ним у взаємодію, що веде до адсорбції атомів та молекул середовища на зовнішніх та внутрішніх поверхнях металу.

Існує фізична (зворотна) та хімічна (незворотна) адсорбції, які складають ряд ступенів взаємодії середовища з металевою поверхнею: від адсорбції, що обумовлюється силами Ван-дер-Ваальса [5–9, 17, 18], наприклад, адсорбції поверхнево-активної змазувально-охолоджуючої рідини до прямих хімічних реакцій, наприклад, окисненням з утворенням фази  $Fe_2O_3$  на залізі.

Рельєф поверхні, що утворюється в результаті роботи внутрішніх та підповерхневих джерел дислокацій, суттєво залежить від значення поверхневої енергії, наявності і складу адсорбованих плівок [6–11, 18, 19]. Плівка та основний метал можуть мати різні параметри решіток, різну поверхневу енергію і т. п.

Все це суттєво впливає на взаємодію дислокацій з поверхнею, а отже, і на розвиток рельєфу поверхні при пластичній деформації.

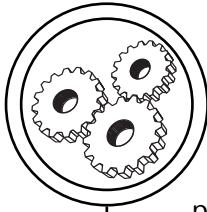
У зв'язку з впливом адсорбованих плівок на формування поверхні необхідно прискіпливо проаналізувати два випадки.

1. Параметри решітки та структура плівки і основного металу — різні. В цьому випадку на межі розділу формується склад-

на сітка дислокацій невідповідності структур, яка заважає виходу дислокацій на поверхню. Яскравим прикладом такої взаємодії на границі «метал—плівка» може слугувати окиснення металів з утворенням на поверхні структурованих шарів.

Плівки оксидів здійснюють великий вплив при пластичному деформуванні на розвиток рельєфу поверхні. При цьому природні плівки окислів товщиною у межах  $20\text{--}30 \text{ \AA}$ , які виникають при звичайних умовах деформації металів, мало впливають на формування фізичного рельєфу. А плівки окислів, що виникають при нагріві, і, особливо, плівки окислів, що утворюються при зовнішньому терті, суттєво впливають на формування рельєфу поверхонь. Наприклад, для заліза плівки товщиною  $200\text{--}600 \text{ \AA}$  різко впливають на розвиток поверхонь на всіх елементах її структури. При наявності окисних плівок рельєф поверхні згладжується, а висота шорсткості стає меншою. Утворення нерівностей, що проявляються при розтязі на лініях ковзання, фрагментах і границях зерен в умовах окислення різко гальмуються і вони виявляються у декілька разів меншими ніж нерівності, що отримуються при тій же деформації без плівок. Ці відмінності найбільш різко виявляються на початкових стадіях деформації та поступово зникають зі зростанням ступеня деформації і зі зменшенням товщини окисної плівки [6–10, 13, 14, 19].

2. Великий вплив рідких змазувальних середовищ, які у своєму складі мають поверхнево активні речовини.



Вплив поверхнево-активних речовин, що обумовлений фізичною адсорбцією, є вельми суттєвим. Ефект адсорбційної пластифікації (значного полегшення пластичних деформацій) був вперше встановлений та всебічно досліджений П. А. Ребіндером [18].

В основі цього ефекту лежить чисто поверхнева взаємодія металу з середовищем. Під впливом фізичної чи зворотної адсорбції відбувається зменшення вільної енергії металу, що деформується. Зменшення поверхневої вільної енергії поверхнево активними речовинами веде до зниження енергетичного бар'єру для виходу дислокацій на поверхню та активізації від поверхневих джерел дислокацій. Це викликає зниження ліміту текучості, коефіцієнта зміцнення та пластифікації металу. Відзначається значне подрібнення пачок ковзання і зернової структури металу, що деформується, а також полегшується зсувоутворення та збільшується кількість зсувів. Рельєф, що утворюється при деформації у середовищах, які мають у своєму складі поверхнево активні речовини, характеризуються суттєвим зменшенням висоти нерівностей, збільшенням їх кількості та більш тонкою побудовою.

Стан поверхні, що характеризується рельєфом, який є тільки результатом неупорядкованості внутрішньої побудови твердих тіл (перша група факторів) та наявності адсорбованих плівок на поверхні (друга група факторів), може бути своєрідною характеристикою

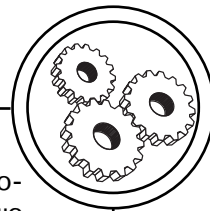
поверхонь зразків, отриманих в особливих умовах лабораторних досліджень. В конкретних умовах технологічного оброблення деталей та при навантаженні деталей тертям в процесі експлуатації стан поверхонь і побудова поверхневих шарів набагато складніші. Це обумовлено впливом третьої групи факторів — механікою контакту при утворенні поверхні.

Механічні умови формування поверхні головним чином характеризуються епюрою робочих напружень у поверхневому шарі. При цьому (залежно від механіки контакту) реалізація ролі структури та адсорбції при формуванні поверхонь є досить специфічною.

Формування технологічного та робочого рельєфів визначається сумою механічних, теплових та фізико-хімічних дій на поверхню металу [1–11]. Проте (внаслідок принципово різного характеру цих дій) при технологічній обробці деталей та при навантаженні їх поверхонь тертям під час експлуатації виникають принципово різні типи рельєфів поверхні-технологічний та експлуатаційний.

Параметрами якості поверхонь є їх геометрія, фізико-хіміко-механічні властивості поверхневих шарів та залишкові напруження в них [3, 4, 8, 13–16, 19]. Ці параметри проявляються у макро-, мікро- та субмікроскопічних масштабах.

На рис. 2, 3 наведені профілографи мікрорельєфу, фотографії та схеми побудови поверхневих шарів високолегованих антифрикційних композитів, синтезованих на основі викори-



стання шламових шліфувальних відходів інструментальних та штампових сталей типу 86Х6НФТ, які утворюються відповідно після кінцевих операцій тонкого шліфування та прецизійної доводки та при експлуатації в нормальних умовах граничного тертя деталей машин.

При навантаженні тертям в процесі експлуатації тонких граничних шарів робочих поверхонь деталі знаходяться під багаторазовим повторним навантаженням нормальних і тангенціальних напружень, у певних термічних режимах та в особливих умовах фізико-хімічної взаємодії з робочим середовищем зони тертя.

Головним фактором, що визначає формування поверхні, її топографію і властивості поверхневих шарів при експлуатації є пластична деформація новітніх марок високолегованих композитів.

При нормальних умовах зовнішнього тертя відбувається деформація (текстурування) особливо тонких поверхневих шарів металу з наступним утворенням та постійною руйнацією плівок вторинних структур [19].

Під вторинними захисними структурами слід розглядати плівки різного складу, побудови та властивостей, що розмежовують ювенільні поверхні композитних сплавів при їх контактуванні. Найбільш типовими вторинними структурами є плівки окислів, які виникають безпосередньо при терті.

При терті зі змащуванням композитів (залежно від складу змащувальних матеріалів і, особливо, від присадок до них)

плівки вторинних структур утворюються при спільній дії кисню повітря, активних композитів мастила та металевої фази композитного сплаву.

Якість поверхні деталей поліграфічних машин (при нормальних умовах експлуатації) органічно пов'язана з процесами формування вторинних структур, з усіма перетвореннями в них при терті та з процесом їх руйнації. Процес утворення та руйнації вторинних структур в поверхнях новітніх зносостійких композитів носить статичний характер [3, 5, 7–11, 13, 14]. Доцільно зазначити, що ділянки вторинних структур на поверхні тертя деталей з високолегованих антифрикційних композитів розподілені рівномірно.

Головним фактором, що формує топографію поверхонь завантажених деталей тертя сучасних поліграфічних машин (при нормальних умовах зовнішнього тертя), є напружено-деформований стан у зоні контакту, який виникає саме при формі навантаження (епюра робочих напружень).

При цьому суттєве значення має внутрішня структура поверхонь тертя і фізико-хімічні характеристики робочого середовища у зоні контакту.

Сучасні уявлення механіки, фізики твердого тіла, фізико-хімії тонких поверхневих явищ, теорії нормального тертя і зношування дозволяють сформулювати наступні положення про формування якості поверхонь деталей друкарських машин при їх технологічному обробленні та при експлуатації в умовах дії жорстких навантажень.

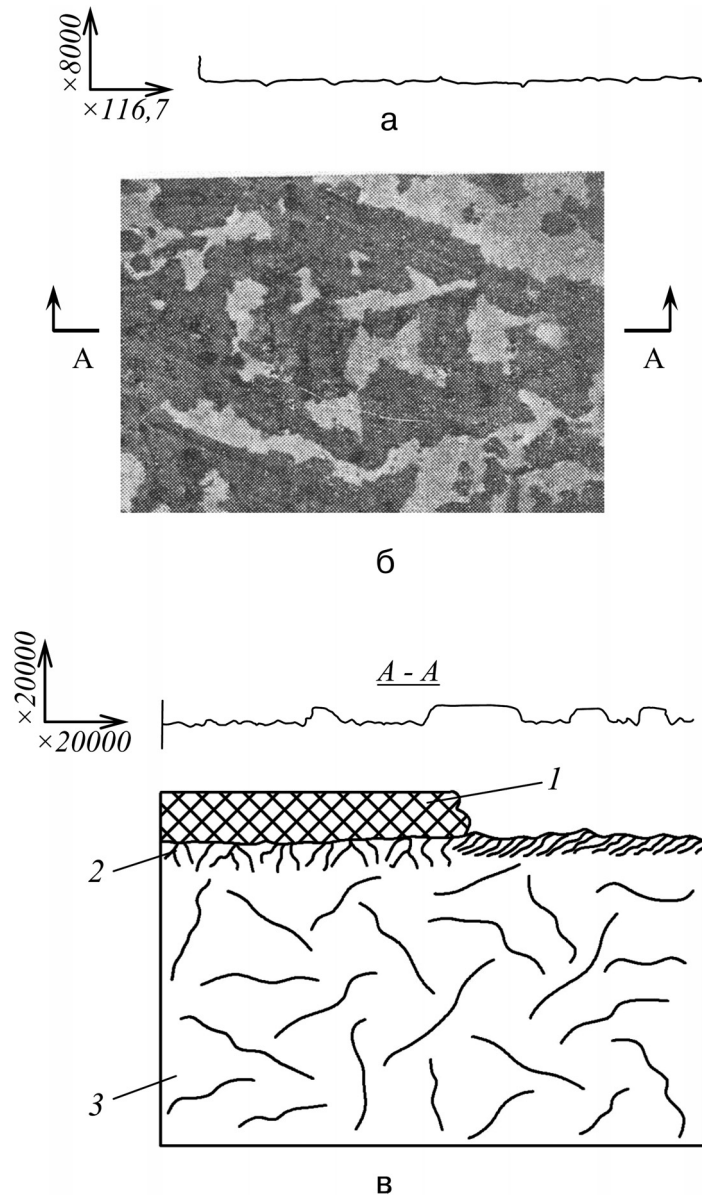
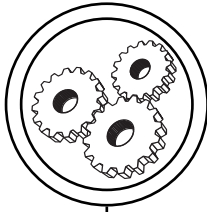


Рис. 2. Побудова поверхневих шарів деталей з високотносостійкого композиту 86Х6НФТ+ CaF<sub>2</sub> після тонкого алмазно-абразивного шліфування: а — профілографа мікрорельєфу; б — мікрофотографія поверхні (×300); в — схема побудови поверхневого шару деталі з композиту: 1 — природна плівка оксидів; 2 — деформований шар; 3 — основний матеріал

Необхідно зазначити, що машин у значному ступені залежать від механіки контакту, характеру внутрішньої структури



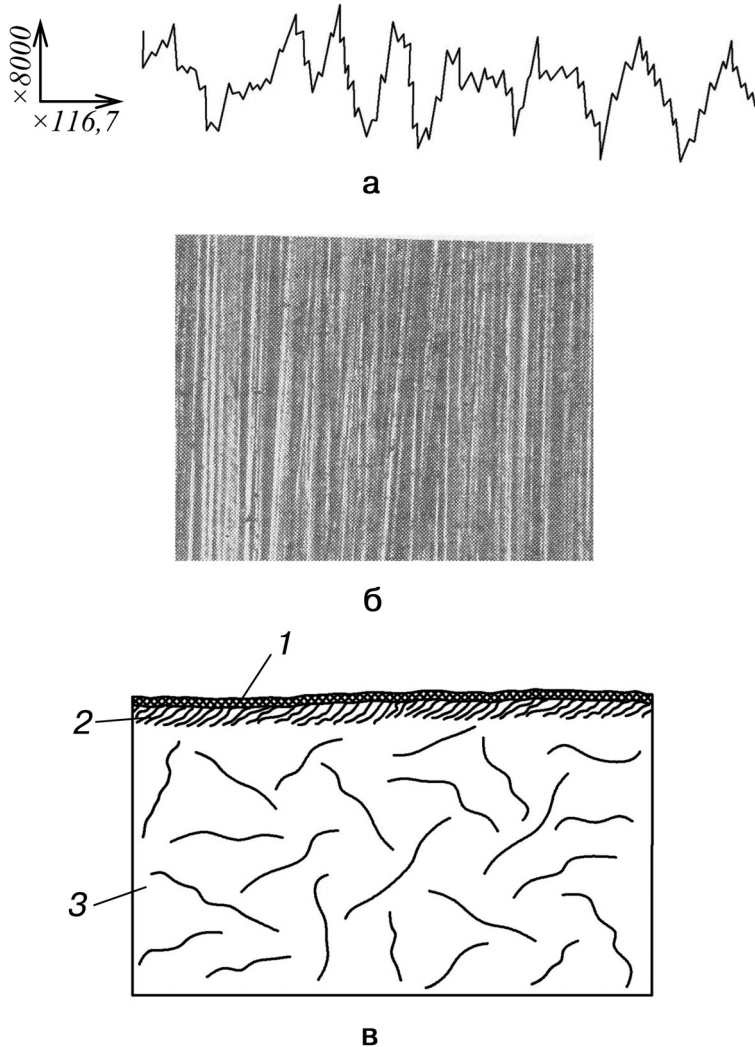
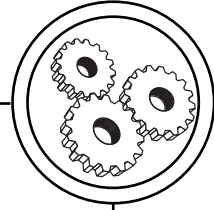


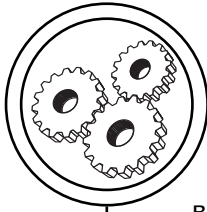
Рис. 3. Побудова поверхневих шарів деталей з високозносостійкого композиту 86Х6НФТ+ CaF<sub>2</sub>, що утворюються при експлуатації у нормальних умовах граничного тертя: а — профілографа мікрорельєфу; б — електронна фотографія (×2000) та профілографа субмікрорельєфу; в — схема побудови поверхневих шарів композиту при нормальних умовах тертя: 1 — плівка захисної вторинної структури; 2 — деформований шар; 3 — основний матеріал

композиту та умов середовища.

При цьому оптимальний технологічний та оптимальний робочий рельєфи можуть бути отримані при виконанні наступних умов:

1. Оптимальний технологічний рельєф:

а) епюра напружень повинна забезпечувати утворення нормальних поверхонь при мінімальній руйнації та рівномірному зміцненню підповерхневого шару;



б) умови середовища повинні забезпечувати зниження значень поверхневої енергії, спрощення виходу дислокацій на поверхню пластифікації та вихід деформацій у тонкі поверхневі шари;

в) структурний стан поверхневого шару після оброблення повинен характеризуватися однорідністю при мінімальній щільності нестабільності внутрішнього стану чи її рівномірному розподілу по поверхні.

2. Оптимальний робочий рельєф:

а) структурний стан повинен забезпечити утворення однорідного текстурованого шару мінімальної товщини;

б) текстурована поверхня повинна бути достатньо активізованою для забезпечення здійснення нормальних окислювальних процесів та утворення епітаксialного граничного стану мастильної речовини;

в) епюра напружень повинна мати відповідність максимально можливій деконцентрації зовнішнього напруження поверхні композитної деталі, що забезпечує рівномірність утворення текстур і мінімальних руйнацій плівок окислів.

При порушенні нормальних умов експлуатації вузлів тертя та сполучень в швидкісних друкарських машинах процес руйнації захисних плівок вторинних структур може превалювати над процесами їх відновлення. Тоді виникають неприпустимі (з точки зору нормального рівномірного ходу експлуатації) явища схоплювання I і II роду. Такі явища виникають при перенавантаженнях у зоні контакту пар

тертя та руйнації змащувальної плівки (вторинних структур), при порушенні режиму тертя, при явищах десорбції і втраті властивостей мастильного шару, при роботі у нейтральних і відновлювальних газових та рідинних середовищах, а також в інших екстремальних випадках [5–10].

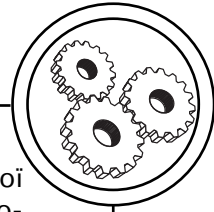
Відхилення від нормальних умов тертя та неприпустимі руйнації поверхонь можуть виникати і при недостатньому захисті зони контакту пар тертя від абразивного пилу та виробничого бруду, при перевантаженнях, в умовах тертя кочення та розвитку явищ втомлюваності з утворенням тріщин, западин і відновлювання шарів металу.

Якість поверхні при неприпустимих видах їх пошкоджень обумовлюється, здебільше, специфікою процесів руйнації [5–10, 19].

Управління закономірностями формування якості поверхні при технологічному її обробленні та експлуатації, які забезпечують отримання оптимальних параметрів якості, безумовно сприяє ефективному вирішенню техніко-економічних задач у технології обробки деталей друкарських машин, в теорії і практиці приробки та в підвищенні надійності, довговічності та строків служби поліграфічної техніки.

### Висновки

Узагальнюючи комплекс виконаних аналітико-теоретичних та експериментальних досліджень необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.



1. Вперше досліджено питання формування технологічних рельєфів деталей тертя з нових композиційних матеріалів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів високолегованих штампових та інструментальних сталей з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ .

2. Показано, що основні закономірності формування рельєфу поверхонь деталей тертя з новітніх композитів співпадають з засадничими положеннями теорії тертя та зношування, що свідчить про коректність та об'єктивність виконаних досліджень і є незаперечним прикладом єдності фізичних явищ, які лежать в основі процесів тонкого абразивного оброблення деталей друкарської техніки з забезпеченням директивних параметрів якості їх поверхонь тертя та гарантуванням відповідних показників зносо-

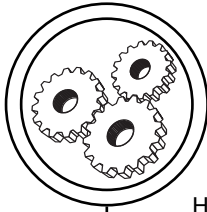
стійкості та експлуатаційної довговічності при жорстких умовах роботи поліграфічних машин.

3. Виконані дослідження дозволяють створити регламентні та типові технологічні процеси надтонкої прецизійної фінішної обробки деталей друкарських машин, які здатні забезпечити високі вимоги до формування технологічних та експлуатаційних рельєфів поверхонь деталей тертя з новітніх високолегованих композитних сплавів, які останнім часом були синтезовані для поліграфічної галузі промисловості.

4. Подальші дослідження доцільно виконувати у напрямку вивчення особливостей формування технологічних та експлуатаційних рельєфів деталей тертя поліграфічної техніки, що виготовляють з композитних сплавів на основі кольорових металів — алюмінію, нікелю та міді.

### Список використаної літератури

1. Дьяченко П. Е. Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки / П. Е. Дьяченко. — М. : изд. АН СССР, 1949. — 426 с.
2. Дьяченко П. Е. Количественная оценка неровностей обработанных поверхностей / П. Е. Дьяченко, В. Э. Вайнштейн, Б. С. Розенбаум. — М. : Изд. АН СССР, 1952. — 358 с.
3. Исаев А. И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием / А. И. Исаев. — М. : Машгиз, 1950. — 412 с.
4. Маталин А. А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А. А. Маталин. — М.-Л. : Машгиз, 1956. — 412 с.
5. Костецкий Б. И. Качество поверхности и трение в машинах / Б. И. Костецкий, Н. Ф. Колисниченко. — К. : Изд-во «Техника», 1969. — 244 с.
6. Костецкий Б. И. Износостойкость и антифрикционность деталей машин / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский. — К. : Изд-во «Техника», 1965. — 312 с.
7. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.



8. 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» ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. — 504 с.

9. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. — М. : Машиностроение, 1968. — 478 с.

10. Роїк Т. А. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : Монографія / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, П. О. Киричок, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2015. — 502 с.

11. Костецкий Б. И. Надежность и долговечность машин / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, Л. И. Бершадский, А. К. Караулов. — К. : Изд-во «Техника», 1975. — 408 с.

12. Патент України № 60522, МПК С22С 33/02 (2006.01). Підшипниковий композиційний матеріал на основі інструментальної сталі / Роїк Т. А., Гавриш А. П., Киричок П. О., Гавриш О. А., Віцюк Ю. Ю., Мельник О. О., опубл. 25.06.11, Бюл. № 12.

13. 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.

14. Гавриш А. П. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів : Монографія / А. П. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, С. В. Войтко. — К. : НТУУ «КПІ», 2012. — 204 с.

15. Рыжов Э. В. Высокоэффективные процессы финишной обработки / Э. В. Рыжов. — К. : Наукова думка, 1987. — 256 с.

16. Лавриненко В. І., Новіков М. Р. Надтверді абразивні матеріали в механообробці : Енциклопедичний довідник / під заг. ред. акад. НАНУ М. В. Новікова. — К. : Вид-во ІНМ ім. В. М. Бакуля НАНУ, 2013. — 456 с.

17. Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. — М. : изд. иностр. лит. — 1962. — 387 с.

18. Ребиндер П. А. Эффект адсорбционного пластифицирования / П. А. Ребиндер. — М. : Металургизд. — 1970. — 356 с.

19. Качество поверхностей деталей машин / Труды семинара по качеству поверхности деталей машин. — М. : изд. АН СССР, 1951–1970. — № 1–9.

### References

1. D'jachenko P. E. Issledovanie zavisimosti mikrogeometrii poverhnosti ot uslovij mehanicheskoy obrabotki / P. E. D'jachenko. — М. : изд. АН СССР, 1949. — 426 с.

2. D'jachenko P. E. Kolichestvennaja ocenka nerovnostej obrabotannyh poverhnostej / P. E. D'jachenko, V. Je. Vajnshtejn, B. S. Rozenbaum. — М. : Изд. АН СССР, 1952. — 358 с.

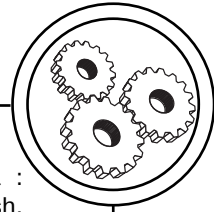
3. Isaev A. I. Process obrazovanija poverhnosnogo sloja pri obrabotke metallov rezaniem / A. I. Isaev. — М. : Mashgiz, 1950. — 412 с.

4. Matalin A. A. Kachestvo poverhnosti i jekspluatacionnye svojstva detalej mashin / A. A. Matalin. — М.-Л. : Mashgiz, 1956. — 412 с.

5. Kosteckij B. I. Kachestvo poverhnosti i trenie v mashinah / B. I. Kosteckij, N. F. Kolisnichenko. — К. : Изд-во «Техника», 1969. — 244 с.

6. Kosteckij B. I. Iznosostojkost' i antifrikcionnost' detalej mashin / B. I. Kosteckij, I. G. Nosovskij. — К. : Изд-во «Техника», 1965. — 312 с.

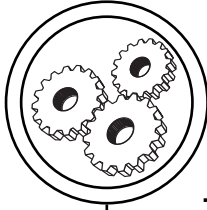
7. Roik T. A. Kompozytsiini pidshypanykovi materialy dlja pidvyshchennykh umov ekspluatatsii / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.



8. Kyrychok P. O. Tekhnolohiia polihrafichnogo mashynobuduvannia : Navchalnyi posibnyk / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. V. Shevchuk, A. P. Havrysh, O. I. Lototska. — K. : NTUU «KPI» VPI VPK «Politekhnika», 2014. — 504 s.
9. Kragel'skij I. V. Trenie i iznos / I. V. Kragel'skij. — M. : Mashinostroenie, 1968. — 478 s.
10. Roik T. A. Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn : Monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, P. O. Kyrychok, A. V. Shevchuk, Iu. Iu. Vitsiuk. — K. : NTUU «KPI», 2015. — 502 s.
11. Kosteckij B. I. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin / B. I. Kosteckij, I. G. Nosovskij, L. I. Bershadskij, A. K. Karaulov. — K. : Izd-vo «Tehnika», 1975. — 408 s.
12. Patent Ukrainy № 60522, MPK S22S 33/02 (2006.01). Pidshypanykovyi kompozytsiinyi material na osnovi instrumentalnoi stali / Roik T. A., Havrysh A. P., Kyrychok P. O., Havrysh O. A., Vitsiuk Iu. Iu., Melnyk O. O., opubl. 25.06.11, Biul. № 12.
13. Roik T. A. Suchasni systemy tekhnolohii zahotivel'nogo vyrobnytstva v mashynobuduvanni : Monohrafiia / T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. A. Havrysh. — K. : EKMO, 2010. — 212 s.
14. Havrysh A. P. Novitni tekhnolohii vyrobnytstva standartyzovanykh vyrobiv : Monohrafiia / A. P. Havrysh, Iu. Iu. Vitsiuk, T. A. Roik, O. A. Havrysh, S. V. Voitko. — K. : NTUU «KPI», 2012. — 204 s.
15. Ryzhov Je. V. Vysokojeffektivnye processy finishnoj obrabotki / Je. V. Ryzhov. — K. : Naukova dumka, 1987. — 256 s.
16. Lavrynenko V. I., Novikov M. R. Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanoobrobtsi : Entsyklopedychnyi dovidnyk / pid zah. red. akad. NANU M. V. Novikova. — K. : Vyd-vo INM im. V. M. Bakulia NANU, 2013. — 456 s.
17. Van Bjuren. Defekty v kristallah. — M. : izd. inostr. lit. — 1962. — 387 s.
18. Rebinder P. A. Jeffekt adsorbcionnogo plastificirovanija / P. A. Rebinder. — M. : Metalurgizd. — 1970. — 356 s.
19. Kachestvo poverhnostej detalej mashin / Trudy seminaru po kachestvu poverhnosti detalej mashin. — M. : izd. AN SSSR, 1951–1970. — № 1–9.

**В статье представлены результаты аналитико-теоретического и экспериментального исследования процесса формирования технологического и эксплуатационного рельефа поверхностей деталей трения из новых композитных антифрикционных материалов, синтезированных на основе использования утилизированных и регенерированных шлифовальных отходов производства из высоколегированных инструментальных сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС и 5ХЗВЗМФС. Показано, что режимы резания при абразивном шлифовании и прецизионной доводке существенно влияют на формирование поверхности трения деталей из новых композитов. Также существенно влияют элементы вторичных структур, адсорбция и смазывающая среда. Разработаны рекомендации для производства.**

**Ключевые слова:** рельеф поверхности трения; новые композитные сплавы; режимы резания; износ деталей; полиграфические машины.



**The results of the analytical and presentation of theoretical and experimental research of the process formation of the technological and exploitation relief of the surfaces details of the friction from the new composite antifriction materials synthesized on the base using of the utilized and regenerated grinding wastes production with high — ligature instrumental steels 86Х6НФТ, 4ХМНФС and 5Х3В3МФС have been presented in the article. It was shown, that parameters of the abrasive grinding and precision machining essentially influence of the surface friction details from new composites. The elements of duplicative — structures, adsorption and oil liquid essentially influence too. It was developed the recommendations for the manufacture.**

**Keywords: relief of surface of friction; new composite alloys; parameters cutting; wear of the details; printing machines.**

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

Надійшла до редакції 11.10.14