

УДК 621.9

А.П. Гавриш, д.т.н., проф.
Т.А. Роїк, д.т.н., проф.
О.І. Лотоцька, к.т.н., доц.
Ю.Ю. Віцюк, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ФОРМУВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Наведені результати теоретико-експериментальних досліджень динамічного зміцнення та параметрів якості поверхонь у тонких поверхневих шарах композитних деталей тертя для друкарських машин, виготовлених з нових зносостійких композитних матеріалів на основі відходів інструментальних сталей та оброблених методами тонкого абразивного шліфування. Розроблені рекомендації для промисловості.

Ключові слова: залишкові напруження; шліфування; високолеговані сплави; характеристики міцності; глибина різання.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. У конструкціях новітнього обладнання поліграфічної техніки широко застосовують зносостійкі композиційні матеріали, які одержані з цінної та дешевої сировини – промислових відходів високолегованих штампованих та інструментальних сталей, які, на жаль, навіть сьогодні переважно виводяться у відвали і не використовуються в повному циклі виробництва.

На основі розгалужених науково-дослідних робіт з регенерації та повторного використання у виробничому циклі сировинних ресурсів останніми роками були створені оригінальні високозносостійкі сплави на основі легованих сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС [1–3].

Вони пройшли всебічну перевірку в умовах дії агресивного навколишнього середовища (кисень, повітря, виробничий пил з абразивною властивістю, температурні навантаження при експлуатації у межах 800–850 °С, питомі навантаження до 5–7 МПа) і широко застосовуються для виготовлення деталей тертя поліграфічних комплексів фірми Koenig&Bauer AG (Німеччина), а саме KBA Rapida – 6+L–ТТ–L (шестифарбова з двома лаковими секціями) і KBA Rapida 75–4, струминних принтерів Océ Arizona 6170 XTS фірми Canon (США), паперорізальних машин WOHLBERG Trim-tec 560 тощо.

Відомо, що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності обладнання, суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя (шорсткість, геометрична точність, фізичні властивості поверхневого шару – ступінь і глибина наклепу, величина та знак залишкових напружень), які формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення [1, 3, 4].

У зв'язку з тим, що нові композиційні сплави на основі високолегованих штампованих та інструментальних сталей знайшли своє використання у машинобудуванні та приладобудуванні відносно нещодавно, розгалужених та всебічних досліджень процесів їх тонкого абразивного оброблення практично не проводилось. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямку, виконані дослідження з аналізу формування параметрів шорсткості R_a поверхонь деталей з нових композитів, а також параметрів наклепу поверхневого шару [1–4].

На жаль, сьогодні практично не вивчається процес формування залишкових напружень поверхневих шарів під час абразивного шліфування високолегованих композиційних сплавів для друкарської техніки, хоча з базових положень теорії тертя і зношування деталей [5–11] відомо, що величина і знак залишкових напружень суттєво впливають на довговічність та зносостійкість деталей тертя машин і механізмів.

Тому дослідження процесу формування залишкових напружень поверхневих шарів деталей, які виготовлені з новітніх марок високолегованих антифрикційних композитів, є актуальним завданням, що має як наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи було дослідження процесу утворення залишкових напружень у поверхневих шарах деталей, які виготовлені з високозносостійких композитних сплавів, синтезованих з регенованих шламових шліфувальних відходів інструментальних сталей 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВЗМФС, а також вивчення впливу основних технологічних факторів абразивного шліфування на величину і знак залишкових напружень у поверхнях оброблюваних деталей. У коло завдань дослідження входило: встановити основні закономірності формування залишкових напружень, гли © А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.І. Лотоцька, Ю.Ю. Віцюк, 2014 до зменшення рівня та глибини залягання залишкових напружень під час абразивного шліфування деталей з новітніх композитів та розробити рекомендації для промислового виробництва.

Викладення основного матеріалу. Механічне оброблення металів шліфуванням супроводжується розвитком значних за своїм рівнем складових сил різання та виділенням у зоні різання великої кількості тепла. Це утворює у поверхневому шарі обробки деталей залишкові напруження, які (як вже відзначалось) суттєво впливають на експлуатаційні властивості деталей машин [1, 2, 4, 5]. У процесі різання формуються як тангенціальні залишкові напруження, дія яких збігається з напрямком вектора швидкості різання, так і перпендикулярні їм осьові напруження. Згідно з сучасними уявленнями, за відсутності фазових перетворень у формуванні залишкових напружень під час шліфування беруть участь, в основному, температурне і силове поля. При цьому пластичні деформації від дії нормальної складової сили різання ведуть до зміцнення поверхневого шару і появи залишкових напружень стискання, а тепловий фактор утворює залишкові напруження розтягання тим більшої величини, чим вища температура.

Величина і знак залишкових напружень визначаються сумарною дією силового і температурного полів: коли превалює пластична деформація під дією силового поля – формуються залишкові напруження стискання, якщо превалює тепловий фактор – формуються залишкові напруження розтягання.

Ця точка зору в багатьох випадках дозволяє пояснити утворення в поверхневому шарі залишкових напружень розтягання та стискання. Проте при цьому важко пояснити експериментальні дані, отримані різними авторами [5, 10, 11], про існування у шліфованих зразках як різних за величиною тангенціальних σ_T і осьових σ_o напружень розтягання ($\sigma_T > \sigma_o$), так і протилежних за знаком напружень – тангенціальних розтягання та осьових стискання. При превалюючому впливі теплового фактору слід було очікувати виникнення однакових за величиною тангенціальних та осьових залишкових напружень розтягання, а при превалюючій дії силового поля – тільки напружень стискання в обох напрямках.

Для побудови схеми формування залишкових напружень під час шліфування необхідно встановити інтенсивність та характер змін деформації елемента метала поверхневого шару безпосередньо у процесі шліфування. Розглянемо стан напружень у випадковій точці *A* (рис. 1). Оскільки різальні абразивні зерна шліфувального круга розташовані на значній відстані одне від одного і діаграма розтягання для пружно-пластичних матеріалів збігається з діаграмою розвантаження, то напружений стан металу можливо розглядати як результат силової дії поодинокого абразивного зерна на напівбезкінцеву пластину.

Елементарний об'єм металу у випадку, що розглядається, буде послідовно перебувати у трьох різних зонах силової дії. У зоні I холодний метал з модулем пружності E_1 сприймає спочатку пружні, а потім, коли напруження досягнуть ліміту текучості σ_{T1} , і пластичні деформації. Під дією нормальної складової сили різання P елемент металу розширюється у напрямках X і Y , а під дією тангенціальної складової F – стискається у напрямку X , перпендикулярному площі рисунку. У зоні II, яка дорівнює довжині дуги контакту шліфувального круга з деталлю оброблення, високі температури в зоні різання обумовлюють термопластичні деформації металу поверхневого шару, одночасно знижуючи характеристики міцності і модуль пружності до величини E_2 . Під дією сили P елемент композитного сплаву продовжує своє розширення в обох напрямках, а під дією сили F деформація елемента композиту дорівнює 0, саме тому, що деформації стискання та розтягання – однакові.

У зоні III одночасно зі швидким охолодженням елемента композитного сплаву відбувається зняття зовнішнього силового навантаження. Під дією тангенціальної складової сили різання F відповідний елемент композиту подовжується в напрямку Y і стискається в напрямку X .

Під час обробки зміцнювальних матеріалів нагрітий метал у зоні III (внаслідок зміцнення) може мати більш високі значення ліміту міцності і ліміту текучості σ_{T3} , ніж у зоні I. Тому величина пружної деформації від дії тангенціальної складової сили різання у зоні III, що відповідає ліміту текучості $\sigma_{T3} > \sigma_{T1}$, повинна бути більшою, ніж у зоні I. Саме тому залишкова деформація розширення елемента композиту в трьох зонах, як результат спільної дії складових P і F , у тангенціальному напрямку має бути меншою, ніж у осьовому.

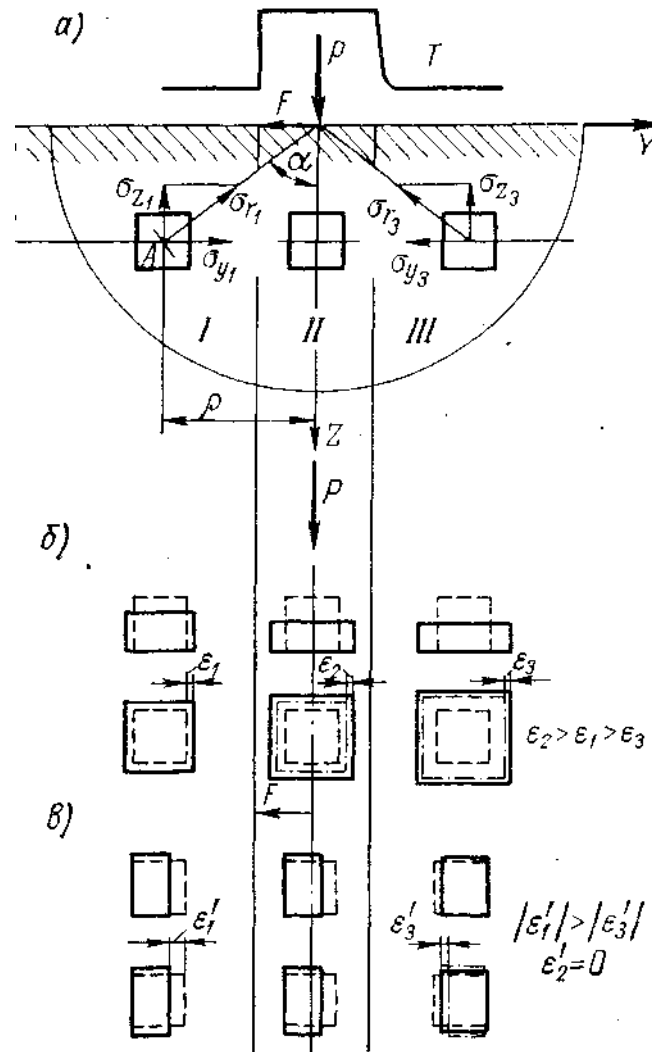


Рис. 1. Поле напружень (а) та характер залишкових деформацій від дії нормальної (б) і тангенціальної (в) складових сили різання під час абразивного шліфування композиційних сплавів

Якщо ж характеристики міцності композитного сплаву в зоні III (внаслідок малого зміцнення і достатньо високих температур матеріалу, що охолоджується) практично не відрізняються від характеристик міцності в зоні I, то залишкові деформації від силової дії в тангенціальному та осьовому напрямках мають бути однаковими.

Наведений характер деформацій елемента композитного сплаву в поверхневому шарі деталі, що оброблюється методом абразивного шліфування, підтверджується осцилограмами поздовжнього та поперечного тензодатчиків (100 Ом, база – 5 мм), що наклеєні на нижню поверхню зразка, який шліфується. Однопрохідне шліфування виконувалось шліфувальним кругом Э9А40СМ2К при швидкості круга $V_{кр} = 20$ м/с, швидкості деталі $V_{д} = 0,05$ м/с, глибині шліфування $t = 0,02$ мм з охолодженням стандартною емульсією.

Криві деформації поперечного тензодатчика (рис. 2) показують, що силова дія шліфувального круга досить відчутна (величина деформації $\epsilon = 4 \cdot 10^{-4}$ відн. од.) вже при $A = 8$ мм (A – відстань між кругом та тензодатчиком), у той час як надлишкові температури проникають на глибину приблизно 2 мм.

Якщо превалює тепловий фактор, то величина залишкових напружень розтягання в тангенціальному напрямку має бути більшою, ніж у осьовому.

Якщо превалює силовий фактор, то величина тангенціальних залишкових напружень стискання має бути меншою за осьову.

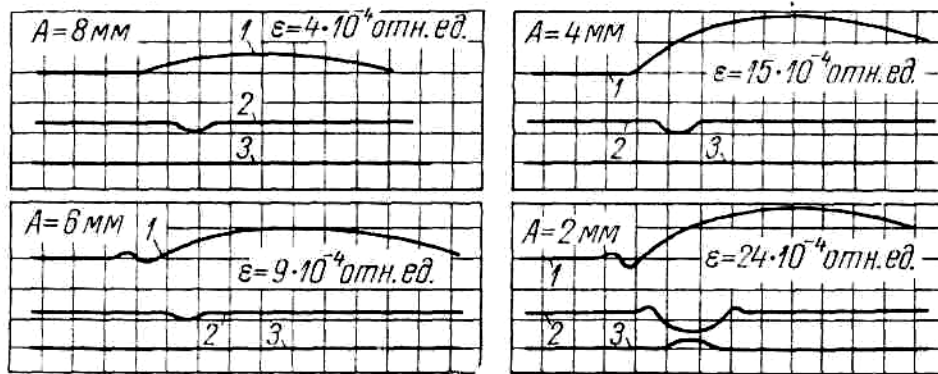


Рис. 2. Осцилограми деформацій тензодатчиків та температурні криві для різних відстаней круга від поверхні шліфування: 1 – поперечний тензодатчик; 2 – поздовжній тензодатчик; 3 – температура нижньої поверхні зразка

Вочевидь, зазначений вплив тангенціальної складової сили різання буде мати місце під час шліфування з тонкими режимами різання, коли миттєві контактні температури – невеликі, а характеристики міцності в зоні III більші, ніж у зоні I. У випадку шліфування композитів, що мають здатність до невеликих показників зміцнення, чи абразивної обробки композитів з підвищеною схильністю до зміцнювання з режимами різання, які утворюють високі миттєві температури в зоні різання, а характеристики міцності матеріалу в зоні I і III рівні, залишкові напруження в тангенціальному та осьовому напрямках мають також бути однаковими.

Це підтверджується епюрами розподілу тангенціальних та осьових залишкових напружень (рис. 3), що отримані при поздовжньому та поперечному шліфуванні технологічних зразків (70×9×3 мм) з композитів на основі високолегованих інструментальних сталей 86Х6НФТ і 4ХМНФС.

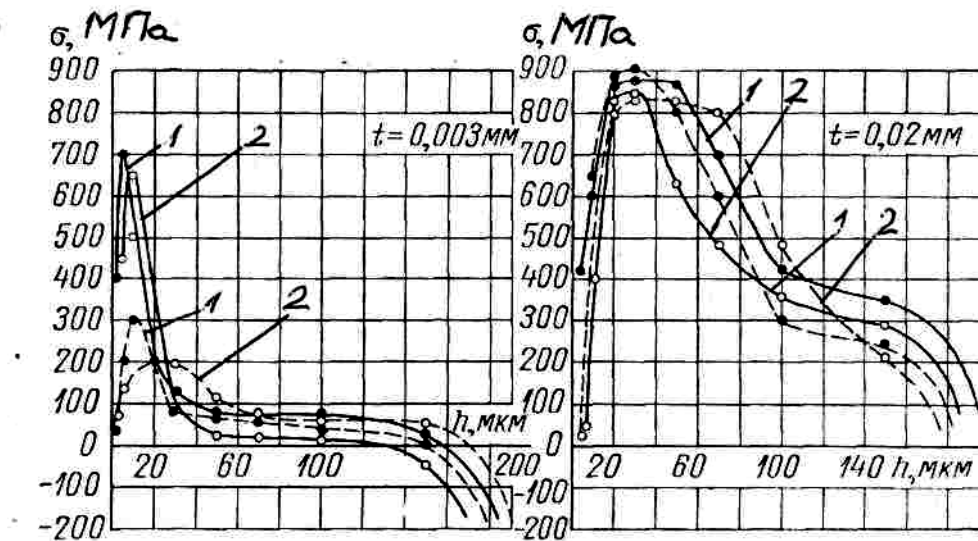


Рис. 3. Розподіл тангенціальних та осьових залишкових напружень за глибиною поверхневого шару h за різних глибин однопрохідного шліфування t композитних сплавів на основі високолегованих інструментальних сталей 86Х6НФТ (1) та 4ХМНФС (2) – круг Э9А40СМ2К, $V_{кр} = 20$ м/с, $V_0 = 0,0117$ м/с, охолодженням ϵ стандартна емульсія: ----- – тангенціальні напруження; ————— – осьові напруження

Дійсно, при малих глибинах шліфування (~0,003 мм) величина тангенціальних напружень розтягання приблизно вдвічі вища за величину осьових напружень, а при більших глибинах різання (~0,02 мм) тангенціальні та осьові залишкові напруження – ідентичні.

Аналогічний вигляд мають епюри тангенціальних і осьових залишкових напружень для зразків з технічно чистого заліза. Величина та характер залишкових напружень визначаються міцнісними характеристиками матеріалу, силами різання, які припадають на кожне окреме абразивне зерно, та температурною дією шліфувального круга на деталь оброблення (табл. 1).

Результати досліджень залишкових напружень залежно від матеріалу оброблення (технічно чисте залізо, композити на основі високолегованих штампових та інструментальних сталей 86Х6НФТ і 4ХМНФС) і режимів різання під час плоского шліфування показали наступне.

1. У тонкому поверхневому шарі формуються залишкові напруження стискання, які досягають значень до 600 МПа і потім трансформуються у високі напруження розтягання близько 600–1000 МПа. Глибина залягання напружень стискання зменшується зі збільшенням твердості матеріалу оброблення. Загальна глибина напружень шару 0,16–0,20 мм (рис. 4).

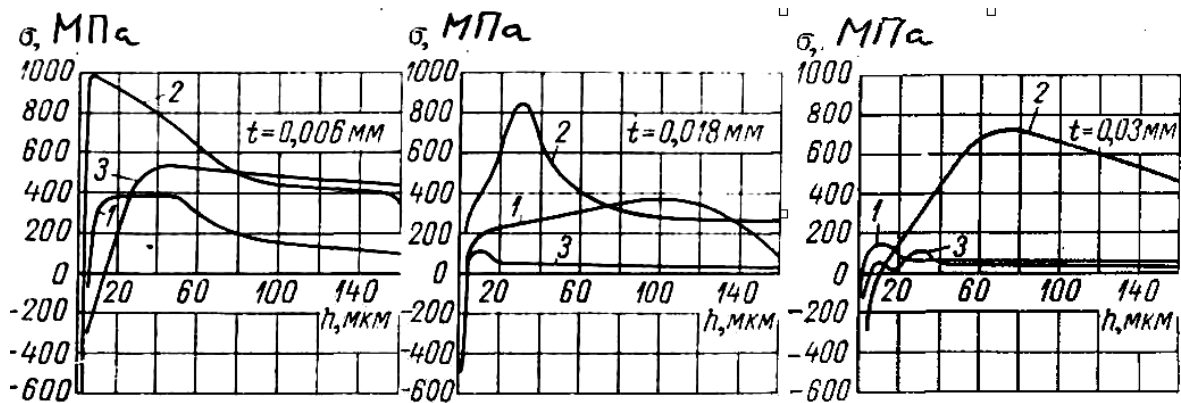


Рис. 4. Розподіл залишкових напружень за глибиною h поверхнього шару композиту 86Х6НФТ за різних глибин шліфування t і швидкості обертання шліфувального круга (круг Э9А40СМ2К, $v_0 = 0,117$ м/с): 1 – $v_{кр} = 13$ м/с; 2 – $v_{кр} = 20$ м/с; 3 – $v_{кр} = 35$ м/с

2. Зі збільшенням глибини шліфування до $t = 0,012 - 0,015$ мм рівень напружень розтягання зростає внаслідок того, що термопластичні деформації збільшуються інтенсивніше, ніж деформації від сили різання, що виникають на різальному лезі кожного окремого зерна абразивного шліфувального круга. За подальшого зростання глибини шліфування t рівень напружень стискання знижується, а глибина їх залягання збільшується.

3. Рівень напружень розтягання досягає своїх максимальних значень за швидкості обертання шліфувального круга 20 м/с. У разі зменшення швидкості різання до 13 м/с величина напружень розтягання знижується, що обумовлюється збільшенням сил різання та суттєвим зменшенням миттєвих контактних температур. За швидкості різання 35 м/с рівень напружень розтягання також знижується, як наслідок того, що високі контактні температури полегшують хід пластичної деформації, спричиненої силовою дією кожного поодинокого абразивного зерна шліфувального круга.

4. Зі зростанням характеристик міцності матеріалу оброблення рівень пластичних деформацій понижується, а величина розтягування – збільшується.

Усі дослідження з вивчення залишкових напружень виконували на приладі PIDNE 1502-TR11 фірми Bruel and Kerg (Данія) з електролітичною обробкою зразків (70×9×3 мм) зі швидкістю 0,5 мкм/хв. Розрахунки залишкових напружень виконували за методом Н.Н. Давиденкова відповідно до рекомендацій, наведених у [2; 5; 10].

З осцилограм також можна бачити, що поперечний датчик витримує постійний розтяг, а поздовжній – стискається тільки під час силового навантаження.

У разі зменшення силової дії криві деформацій плавно повертаються у вихідне положення внаслідок того, що шар композитного сплаву з наклеєними тензодатчиками отримує тільки пружні деформації (пластичні деформації відбуваються у поверхневому шарі на відстані 0,1–0,3 мм від поверхні композитного зразка, що шліфується).

Таблиця 1

Експериментальні залежності титомих сил різання та контактних температур від режимів різання під час однопрохідного плоского шліфування високолегованого композиту 86Х6НФТ (круг 200×32×16 79А40СМ2К, $v_d = 0,117$ м/с, охолодження – емульсія)

Фактична глибина шліфування, t_{ϕ} , мм	Довжина дуги контакту L_k , мм	Кількість зерен в зоні контакту ($B = 10$ мм)	Швидкість шліфувального круга, м/с														
			13					20					35				
			P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н	T_n , °С	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н	T_n , °С	P_z , Н/см	P_y , Н/см	P_{z3} , Н	P_{y3} , Н	T_n , °С
0,006	1,1	8	100	140	12,5	17,5	500	75	120	9,4	15	580	50	80	6,2	10	700
0,012	1,5	11	180	250	16,4	22,7	630	130	200	11,7	19	700	90	140	8,2	12,7	825
0,018	1,9	13	250	320	19,2	24,6	720	170	260	13	20	800	115	200	8,8	15,4	910
0,03	2,4	18	340	480	18,8	26,6	800	230	385	13	21,2	880	150	290	8,4	16,1	990

Примітка:

- Розрахункова кількість зерен на площі контакту круга з деталлю розраховувалась за формулою:

$$N = 0,1 \frac{L_k B}{l_3^2}$$
, для круга зернистістю 40 $l_3 = 0,37$ мм.
- Розрахункове навантаження на абразивне зерно визначалось за формулами:

$$P_{z3} = \frac{P_z}{N};$$

$$P_{y3} = \frac{P_y}{N}.$$
- Контактна температура вимірювалась розімкнутою термопарою ХА (гальванометр Н 135-0,9)

Незважаючи на те, що обидва канали вимірювальної системи таровані однаково, осцилограми деформацій поперечного та поздовжнього тензодатчиків суттєво різні і непорівнянні за величиною: поперечний датчик працює всією базовою довжиною, а в поздовжнього датчика під час проходження над ним абразивного шліфувального круга частина довжини працює на стиск, тоді як інша його частина – на розтяг. Через те величина деформації, що реєструється поздовжнім датчиком, за своєю суттю є сумою деформацій окремих частин датчика і завжди буде меншою, ніж дійсна величина деформації, що фіксується та реєструється поперечним датчиком.

У зв'язку з тим, що напрямок пружних деформацій тензодатчиків збігається з напрямком пластичних деформацій у поверхневому шарі деталі оброблення, то, як це видно з осцилограм, в результаті силової дії шліфувального круга пластична деформація в тангенціальному і осьових напрямках у загальному випадку стає нерівномірною: елемент композитного сплаву в тангенціальному напрямку подовжується менше, ніж у осьовому. У зв'язку з тим, що під час дії теплового поля термопластичні деформації в усіх напрямках однакові, то результуючі деформації і відповідні залишкові напруження при абразивному шліфуванні композитних матеріалів на основі високолегованих інструментальних сталей в осьовому та тангенціальному напрямках мають бути суттєво різними.

Існуючі методи теоретичного визначення залишкових напружень під час шліфування розроблені тільки для розрахунків термічних напружень і базуються на відомому положенні, що початковим моментом виникнення напружень є момент переходу металом температурної межі «пружного стану», а безпосередньо рівень напружень залежить від температурної різниці ΔT , що виникає в охолодженому перерізі перед цим перепадом. Очікується також, що у тілі, яке досліджується, відсутні початкові напруження, а модуль пружності та коефіцієнт лінійного розширення – постійні.

Основний недолік такого способу розрахунку остаточних напружень полягає, по-перше, у тому, що в даному випадку пластичний стан визначається безпосередньо температурним полем, а не обумовленими цим полем термopужними напруженнями і, по-друге, неможливістю врахувати силову дію шліфувального круга, зміни модуля пружності та коефіцієнта лінійного розширення від температури, а також структурні зміни оброблюваного композитного сплаву.

Для розрахунків залишкових напружень під час шліфування запропоновано метод, сутність якого полягає у тому, що досліджуємо пластину, у поверхневому шарі якої мають місце неоднорідні пластичні деформації, які умовно розподіляється на n шарів рівної товщини і для кожного шару розраховують приріст відносних температур ε_m^t , «силових» ε_m^c , структурних ε_m^t та сумарних ε_m деформацій (значення модуля пружності E_m і ліміту текучості σ_{Tm} вважаються відомими).

Напруження у кожному шарі розраховуються згідно з формулою:

$$\sigma_m = (\varepsilon_{m1} E_1 + \varepsilon_{m2} E_2 + \dots + \varepsilon_{mn} E_n) \frac{E_m}{E_1 + E_2 + \dots + E_m + \dots + E_n}. \quad (1)$$

При утворенні пластичної деформації в якомусь шарі пластини, що шліфується, напруження в цьому шарі залишаються постійними, а значення $\sigma_1; \sigma_2; \dots; \sigma_m$ за межею ліміту пружності необхідно сприймати як величину складових напружень, які з'являються в результаті приросту розширень $\varepsilon_1; \varepsilon_2; \dots; \varepsilon_m$ за проміжок часу Δt , протягом якого ці прирости змінюються монотонно. Таким чином, у випадку пружно-пластичних деформацій для встановлення закону розподілу напружень в який-небудь момент часу процесу механічного оброблення необхідно послідовно проаналізувати всі стадії формування напружень від початку оброблення. При цьому результуючі значення величин напружень у будь-якому шарі (фактичне напруження) отримують шляхом алгебраїчного сумування всіх попередніх складових напружень.

Розраховуючи залишкові напруження у поверхневих шарах шліфованих композитних деталей тертя друкерських машин, визначають деформації композиційного сплаву в усіх зонах силової дії шліфувального круга на деталь оброблення.

При цьому застосовують такі припущення:

- 1) за умови дії швидкісного теплового джерела напружений стан поверхневого шару композитного матеріалу є еквівалентним напруженому стану, що виникає під час нагріву усього поверхневого шару;
- 2) сили різання, що припадають на окремі абразивні зерна – однакові;
- 3) у зоні пластичності має місце принцип суперпозиції, тобто деформації під час одночасної дії силового і температурного полів дорівнює сумі деформацій при незалежній дії цих полів.

Розраховуючи напруження, необхідно враховувати не реальні температури нагріву, а значення температури, яка модифікована за швидкістю деформації.

Величина деформації від сил різання визначається на основі методу пружно-пластичних деформацій з передбаченням, що зразок у поздовжньому перерізі складається з ряду окремих поздовжніх пластин, кожна з яких обробляється окремим абразивним зерном розміром d_3 . Напружений стан композиту (за одночасної дії нормального та дотичного навантаження) визначається виходячи з принципу незалежності дії сил, як результат накладення напружених станів, що виникають при їх незалежній і самостійній дії.

Деформація від сил різання у будь-якому m шарі розраховується згідно з формулами, які отримують після ряду перебудов засадничих положень теорії пружності для радіальних напружень від

концентрованих нормального та дотичного навантаження, що накладають на прямолінійний край напівбезкінцевої пластини:

$$\varepsilon_x^c(P) = \varepsilon_y^c(P) = \frac{P_{y3}\mu}{\pi d_3 E_m z}; \quad (2)$$

$$|\varepsilon_x^c(F)| = \frac{0,11 P_{z3}\mu}{\pi d_3 E_m z}; \quad (3)$$

$$|\varepsilon_y^c(F)| = \frac{0,22 P_{z3}(1-\mu^2)}{\pi d_3 E_m z}, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона, величина якого в зоні пластичності дорівнює 0,5; d_3 – ширина абразивного зерна; E_m – модуль пружності композитного сплаву в зоні дії шліфувального круга; z – відстань від поверхні, що шліфується.

Розрахунки показують, що під час шліфування високолегованого антифрикційного матеріалу 86Х6НФТ у тонкому поверхневому шарі під дією сил різання завжди виникають напруження стискання, а в нижче розташованих шарах (внаслідок теплової дії шліфувального круга) – розтягання, максимум яких зміщуються у глибину від поверхні шліфування тим більше, чим меншим є ліміт текучості матеріалу, що оброблюється.

На рисунку 5 наведено теоретичне розподілення часових та залишкових напружень у пластині з композитного сплаву 5Х3В3МФС товщиною 3 мм під час однопрохідного шліфування кругом Э9А40СМ2К $V_{кр} = 20$ м/с, $V_d = 0,0117$ м/с, $t_\phi = 0,03$ мм).

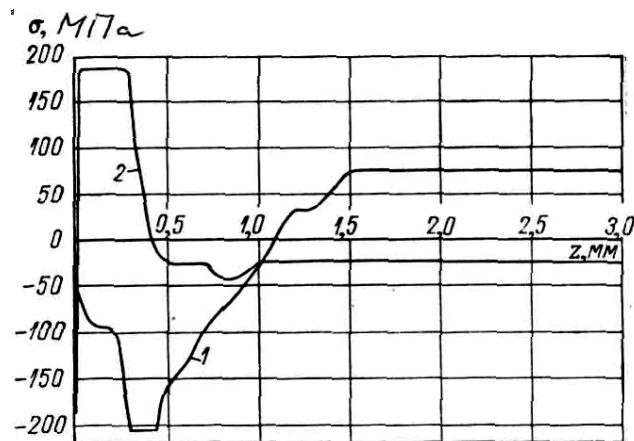


Рис. 5. Теоретичне розподілення часових та залишкових напружень під час шліфування високозносотійкого композитного сплаву 5Х3В3МФС (круг Э9А40СМ2К $V_{кр} = 20$ м/с, $V_d = 0,0117$ м/с): 1 – перед охолодженням; 2 – після охолодження

Експериментальне розподілення температур за глибиною зразка наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Розподілення температур за глибиною зразка

Відстань від поверхні, мм	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Температура, °С	1040	840	640	440	360	310	230	155	80	20	20

Під час розрахунків вважалося, що оброблюваний композит не зміцнюється і структурні перетворення відсутні.

Згідно із запропонованою схемою розрахунків, максимальні напруження розтягання і стискання тотожні і не можуть бути вищими за ліміт текучості матеріалу обробки. Таким чином, вищими є характеристики міцності високозносотійких композитів для деталей тертя поліграфічної техніки, тим вищим має бути рівень залишкових напружень.

Одночасно повинна зменшуватися глибина проникнення в тіло деталі напружень стискання.

Проте відомо, що залишкові напруження поверхневих шарів прошліфованих зразків [2, 4, 5, 10, 12–14] за своїми значеннями перевищують ліміт текучості, а іноді й ліміт міцності оброблюваного матеріалу.

Таке відхилення експериментальних і теоретичних даних пояснюється високим ступенем зміцнення поверхневого шару в процесі шліфування, який під час розрахунків не враховувався.

Проте певна зміна епюр напружень (при врахуванні зміцнення) не зможе суттєво вплинути на якісний характер теоретичного розподілення напружень за глибиною поверхневого шару.

Подальше покращення теоретичного методу розрахунків залишкових напружень з урахуванням усіх особливостей, які характерні для технологічного процесу абразивного шліфування, дозволить розширити можливості дослідників та технологів-виробників у питаннях управління станом параметрів якості поверхонь шліфованих деталей для різних за призначенням машинних та технологічних комплексів.

Висновки. Узагальнюючи наведені теоретико-експериментальні дослідження процесу формування залишкових напружень під час шліфування новітніх композиційних матеріалів для поліграфічної техніки, необхідно зробити наступні висновки:

1. Вперше в науковій практиці виконано комплексне дослідження процесів утворення залишкових напружень поверхневих шарів деталей тертя друкарських машин методами тонкого абразивного шліфування новітніх марок високозносоустійких композитних сплавів 86Х6НФТ, 4ХМНФС та 5ХЗВ3МФС, які синтезовані зі шламів шліфувальних відходів високолегованих штампових і інструментальних сталей.

2. Показано, що залишкові напруження формуються під час шліфування важкооброблюваних композиційних матеріалів як результат взаємодії силового та температурного полів у зоні різання. Запропоновано нову методику розрахунків залишкових напружень, яка експериментально перевірена і забезпечує вимоги суттєвого підвищення їх точності з можливістю здійснення керування процесом отримання необхідних параметрів якості поверхонь оброблення.

3. Розроблені практичні рекомендації за режимами шліфування поверхонь тертя деталей поліграфічних комплексів для заводів поліграфічної галузі народного господарства України.

4. Подальші дослідження процесів формування залишкових напружень у поверхневих шарах деталей сучасних друкарських машин доцільно спрямувати на вивчення залишкових напружень у деталях з композитів на базі кольорових металів (алюміній, мідь, нікель).

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 та ін.* – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 508 с.
3. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : монографія / *Т.А. Роїк та ін.* – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 424 с.
4. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин : навч. посіб. / *П.О. Киричок та ін.* – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 508 с.
5. *Маталін А.А.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства машин / *А.А. Маталін.* – Л. : Mashgiz, 1976. – 384 с.
6. *Костецкий Б.И.* Качество поверхности и трение в машинах / *Б.И. Костецкий, Н.Ф. Колесниченко.* – К. : Техніка, 1969. – 216 с.
7. *Костецкий Б.И.* Износостойкость и антифрикционность деталей машин / *Б.И. Костецкий, И.Н. Носовский.* – К. : Техніка, 1965. – 312 с.
8. *Крагельский И.В.* Трение и износ / *И.В. Крагельский.* – М. : Машиностроение, 1968. – 478 с.
9. Надежность и долговечность машин / *Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский и др.* – К. : Техніка, 1975. – 408 с.
10. *Рыжов Э.В.* Высокоэффективные процессы финишной обработки / *Э.В. Рыжов.* – К. : Наукова думка, 1984. – 340 с.
11. Качество поверхностей деталей машин : труды семинара по качеству поверхности деталей машин. – № 1–9. – М. : Изд. АН СССР, 1951–1970.
12. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов / *Е.Н. Маслов.* – М. : Машиностроение, 1979. – 320 с.
13. *Яцерицин П.И.* Прогрессивная технология финишной обработки деталей / *П.И. Яцерицин.* – Минск : Беларусь, 1989. – 312 с.
14. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. акад. НАН Украины *Н.В. Новикова*, д-ра техн. наук *С.А. Клименко.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.

ГАВРИШ Анатолій Павлович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- теорія процесів шліфування;

- методи фінішного оброблення поверхонь деталей машин.
Тел.: +38067-623-88-13.

РОЇК Тетяна Анатоліївна – доктор технічних наук, професор кафедри репрографії Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- синтез композиційних матеріалів;
- дослідження новітніх композитів та сплавів.

Тел.: +38066-200-48-70.

E-mail: roik2011@gmail.com.

ЛОТОЦЬКА Оксана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- оздоблювальні методи прецизійної обробки деталей машин.

Тел.: +38067-736-95-55.

E-mail: ksushichka@ukr.net.

ВІЦЮК Юлія Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри репрографії Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Наукові інтереси:

- фізико-механічні дослідження новітніх матеріалів та сплавів.

Тел.: +38097-423-01-89.

E-mail: yuliav@bigmir.net.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2014