

**В.Ю. Лосєв, к.т.н., проф.
Д.В. Кудєлін, аспір.**

Житомирський державний технологічний університет

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ТОРЦЕВОГО ЛЕЗОВОГО ІНСТРУМЕНТУ З НТМ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

В статті розглянуто питання, які стосуються залежності експлуатаційних властивостей плоских поверхонь деталей, оброблених торцевим лезовим інструментом з НТМ, від ступеня зносу його різальних елементів. Доведено необхідність визначення граничної величини зносу, при якій в автоматизованому виробництві можливо гарантувати якісні властивості оброблених поверхонь.

Вступ. Постановка проблеми. Фінішна обробка плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним НТМ, є високопродуктивним технологічним процесом, що конкурує з операцією плоского шліфування. Переваги цього способу обробки доведені в роботах [1–3, 10–12] та інших наукових публікаціях.

Критерієм допустимого зносу інструменту є зміна шорсткості обробленої поверхні. Встановлено [1], що величина зносу h_z по задній поверхні зуба фрези до $h_z = 0,3$ мм забезпечує стабільну шорсткість не більше $R_a = 1,2–1,5$ мкм, а при значенні зносу більше вказаної величини шорсткість збільшується. Однак не тільки шорсткість поверхні визначає її експлуатаційні властивості, а й інші параметри (мікротвердість поверхні, залишкові напруження тощо). Навіть при одному і тому ж параметрі шорсткості R_a (R_z) ці властивості можуть бути різними і залежати, зокрема, від кроку нерівностей, радіуса округлення западин, рельєфу тощо.

Необхідно зазначити також, що на кресленнях деталей передбачено позначення шорсткості поверхонь обмеженою кількістю параметрів (R_a , R_z , R_{max} , S_m) та відхилень від розташування поверхонь та їх форми, які не повною мірою характеризують експлуатаційні властивості цих поверхонь. Крім того, в процесі затуплення інструменту збільшується кількість виділеного тепла, що суттєво впливає на експлуатаційні властивості поверхневого шару матеріалу деталі.

Для наукової та практичної діяльності важливим є встановлення граничних параметрів зносу лезового інструменту, які забезпечують необхідні експлуатаційні властивості оброблених поверхонь деталей. Це дасть можливість здійснення управління процесом інженерії поверхневого шару матеріалу деталі залежно від її призначення.

Знайдення зв'язку зміни геометричних параметрів інструменту в процесі зношування з експлуатаційними властивостями оброблених поверхонь є актуальною проблемою автоматизованого металообробного виробництва.

Аналіз останніх досліджень та літературних джерел. В роботі [5] авторами встановлено взаємозв'язок експлуатаційних властивостей деталей машин з характеристиками якості їх поверхневого шару (табл. 1). Слід зазначити, що автор вказаної роботи, як і автори робіт [4, 6], користуються лише якісною оцінкою впливів, а саме: головний вплив на даний параметр, обмежений, його відсутність. Така інформація не є конкретизованою і не може застосовуватись при оцінці якості поверхні деталі, отриманої в автоматизованому виробництві. Для практичного застосування необхідно мати граничні показники кожного параметра поверхні та їх вплив на експлуатаційні характеристики. В той же час наведені дані дають можливість (в зв'язку зі значною кількістю параметрів і великим обсягом необхідних наукових досліджень) обрати найбільш вагомі параметри з точки зору їх впливу для використання в процесі обробки плоских поверхонь.

Необхідність проведення відповідних досліджень підтверджуються також тим, що автори наводять в своїх роботах різні оцінки впливів параметрів якості поверхні на її експлуатаційні характеристики. Так в роботах [4, 6] наведені таблиці (табл. 2, 3), що мають розбіжності з характеристиками, наданими в таблиці 1:

- параметр S_m в таблиці 2 має головний вплив на втомну міцність поверхонь, а в таблиці 1 і 3 він має обмежений вплив;
- параметр R_p в таблиці 2 має обмежений вплив на втомну міцність поверхонь, а в таблиці 1 і 3 – головний вплив;
- параметри W_p , H_{max} , H_p у таблиці 1 мають обмежений вплив на втомну міцність, а в таблиці 2 – не впливають на дану експлуатаційну властивість;
 - параметри h_μ і h_σ у таблиці 1 мають головний вплив на корозійну стійкість поверхонь, а в 2 – обмежений вплив;
 - параметр S у таблиці 2 має головний вплив на корозійну стійкість поверхонь, а в таблиці 1 і 3 – обмежений вплив;
 - параметр H_p у таблиці 1 має обмежений вплив на корозійну стійкість поверхонь, а в таблиці 2 – не впливає на дану експлуатаційну властивість;

- параметр R_a у таблиці 2 має обмежений вплив на щільність з'єднань поверхонь, а в таблиці 1 і 3 він має головний вплив; у таблиці 1 має обмежений вплив на міцність зчеплення покриття, а в таблиці 3 – головний;
- параметри $H_{\text{пов.}}$ і $\sigma_{\text{пов.}}$ у таблиці 1 не впливають на щільність з'єднань поверхонь, а в таблиці 2 – мають головний і обмежений впливи відповідно;
- параметр S у таблиці 1 і 2 не впливають на контактну жорсткість та вібростійкість поверхонь, а в таблиці 3 – мають обмежений вплив на дані експлуатаційні властивості;
- параметр HCO в таблиці 1 має головний вплив на міцність зчеплення покриття та тепловідбивання поверхонь, а у таблиці 3 – обмежений вплив.

Дані розбіжності впливу параметрів поверхонь на їх експлуатаційні властивості зведені у таблиці 4.

В роботі [2] наведена класифікація параметрів поверхневого шару матеріалу деталей, а саме:

- нерівності поверхонь: шорсткість, рельєф (направлення нерівностей), хвилястість;
- фізико-хімічний стан поверхневого шару: структура, фазовий склад, хімічний склад, деформація (наклеп), залишкові напруження, екзоелектронна емісія.

Автори наголошують, що наведена класифікація може служити основою при розробці рекомендацій для створення галузевих стандартів щодо нормування параметрів поверхневого шару з врахуванням заданих умов експлуатації і технологічного забезпечення. Кожна з наведених характеристик поверхневого шару складається з низки параметрів, що мають вплив на експлуатаційні властивості деталей, їх з'єднань і, як наслідок, на довговічність та працездатність виробів. Однак у роботі не встановлено взаємозв'язку цих параметрів із зносом різального інструменту і його вплив на експлуатаційні характеристики поверхонь.

В роботі [6] розглянуті експлуатаційні характеристики поверхонь: контактна взаємодія; контактна жорсткість; коефіцієнт тертя і зносостійкість; опір втомлюваності; корозійна стійкість; герметичність з'єднань; міцність посадок з натягом, а також запропонована методика вибору і призначення системи параметрів поверхневого шару деталей машин, що визначають їх експлуатаційні властивості. Автор роботи наводить структурну схему задачі конструктора у виборі і призначенні параметрів поверхневого шару, а також блок-схему розрахунку оптимальних параметрів стану контактуючих поверхонь деталей машин з врахуванням системи параметрів поверхневого шару. Крім того, що є важливим, науковцем розроблена блок-схема оптимізації процесу обробки деталі за необхідними параметрами поверхневого шару. Проте у роботі не наведено кількісних характеристик параметрів поверхневого шару для заданих експлуатаційних властивостей. Наведені вище розробки можуть з успіхом використовуватись тільки в разі встановлення значень кожного параметра, що характеризує якість поверхневого шару після виготовлення деталей. Разом із тим необхідно також враховувати зміни параметрів цих величин в процесі зношування інструменту, що застосовуються для обробки поверхонь.

Викладення основного матеріалу. Процес зношування інструменту, оснащеного НТМ, суттєво відрізняється від процесів зношування інших інструментальних матеріалів. Це пояснюється вирізненням їх фізико-механічних властивостей, відмінністю фазового і хімічного складу тощо [1]. Автори роботи констатують, що при обробці загартованої сталі торцевими фрезами, оснащеними різцевими вставками з гексаніту-Р, зношування відбувається переважно по головній і допоміжній заднім поверхням різальних елементів інструменту. При обробці чавунів і незагартованих сталей утворюється також лунка на передній поверхні.

Процес зношування відбувається за два визначених періоди:

- у процесі припрацювання (інтенсивний процес 5–20 хв. з викришуванням припружкових ділянок різального клина – до 10 мкм);
- період усталеного зношування, коли з викришувань і сколів утворюються боріздки зносу, що співпадають з направленням вектора швидкості. З часом вони збільшуються за довжиною і шириною.

Представлена авторами картина зносу інструменту (торцевої фрези, оснащеної гексанітом-Р) при обробці чавуну наведена на рисунку 1.

Таблиця 1

Взаємозв'язок експлуатаційних властивостей деталей машин з характеристиками якості їх поверхонь і поверхневих шарів [5]

Експлуатаційна властивість	Геометрична характеристика поверхні																Фізико-механічні характ. поверхневого шару				
	шорсткість											хвилястість				макро-відхилення		поверхнева мікротвердість		поверхневі залиш. напр.	
	R_a	R_z	R_{max}	S_m	S	t_p	R_p	t_{Rp}	ρ	ρ'	напр. нерів.	W_a	W_{max}	W_p	S_{mW}	H_{max}	H_p	$H_{цпов.}$	h_μ	$\sigma_{пов.}$	h_σ
Зносостійкість:																					
-сухе тертя	(+)	(+)	(+)	(+)	-	+	+	(+)	+	-	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+
-рідинне тертя	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	(+)	+	(+)	+	+	+	+	(+)	+	+	+	(+)	+	(+)
-граничне тертя	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	(+)	+	(+)	+	+	(+)	+	(+)	+	-	-	-	-	-
-вибіркове перенесення	(+)	(+)	(+)	(+)	-	(+)	+	(+)	+	(+)	+	(+)	(+)	+	(+)	+	+	-	+	-	-
Втомна міцність	(+)	(+)	+	(+)	-	-	+	-	-	+	+	-	+	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+
Контактна жорсткість	(+)	(+)	(+)	(+)	-	+	+	+	+	-	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	+	+	-	(+)	-
Вібростійкість	(+)	(+)	(+)	+	-	+	+	+	+	-	+	(+)	-	+	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	(+)
Корозійна стійкість	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	-	(+)	-	+	(+)	(+)	(+)	-	(+)	+	+	+	+
Міцність спряжень	(+)	(+)	-	(+)	-	+	+	(+)	+	-	+	(+)	-	+	(+)	(+)	+	+	-	(+)	-
Щільність з'єднань	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	(+)	-	-	+	+	(+)	+	(+)	(+)	+	-	-	-	-
Міцність зчепл. покриттів	(+)	+	(+)	+	-	(+)	+	(+)	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	+	(+)	+	(+)
Обтічність газами і рідин.	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	+	-	-	-	-
Тепловідбивання	+	(+)	(+)	+	+	(+)	+	(+)	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	(+)	+	(+)

Примітка: «+» – характеристики, які мають основний вплив на дану експлуатаційну властивість; (+) – характеристики, які мають обмежений вплив на дану експлуатаційну властивість; «-» – відсутність впливу; R_p (висота згладжування профілю), ρ і ρ' (радіуси округлень вершин і западин мікронерівностей) – параметри, які не ввійшли в ДСТУ 2413-94 (Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення)

Таблиця 2

Взаємозв'язок експлуатаційних властивостей деталей машин з параметрами стану їх поверхневого шару [6]

Експлуатаційна властивість	Геометричний параметр поверхні											Фізико-механічні властивості поверхневого шару			
	макрівідхилення		хвилястість			шорсткість						мікротвердість		залишкові напруження	
	H_{\max}	H_p	W_z	W_p	S_{mw}	$R_a(R_z)$	R_{\max}	R_p	$t_1(t_m)$	S_m	S	$H_{\mu o}$	h_{μ}	σ_o	h_{σ}
Контактна жорсткість: перше навантаження	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+	+	0	+	0	+	0
повторне навантаження	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+	+	0	-	0	-	0
Коефіцієнт тертя	+	+	+	+	-	+	+	+	-*	-	-	+	0	-	0
Зносостійкість	-	-*	-	-*	+	-	-	-*	+	+	+	+	0	+	0
Герметичність з'єднань	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+	-	-	-*	0	-	0
Міцність посадок	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+	-	0	-*	0	-	0
Втомна міцність	0	0	0	0	0	-	-*	+	-	+	0	+	+	+	+
Корозійна стійкість	0	0	-	-	+	-*	-	-	0	+	+	-*	-	-*	-

Примітка: «+» і «-» – збільшення чи зменшення цих параметрів викликає, відповідно, збільшення або зменшення даної експлуатаційної властивості; * – параметр, який має основний вплив на дану експлуатаційну властивість; 0 – параметр, який не має впливу на дану експлуатаційну властивість

Вплив параметрів шорсткості на експлуатаційні властивості поверхні деталей машин [4]

Експлуатаційна властивість	Вплив параметрів шорсткості	
	основний	обмежений
Зносостійкість: – при сухому терті	$t_p, HCO, R_p, r_e, \beta$	R_a, R_{max}, S_m
– при терті з мастилом	$t_p, HCO, R_a, R_p, S_m, \beta$	R_{max}, S
Опір схоплюванню	t_p, S, β	R_a, R_{max}, HCO, r_e
Втомна міцність	$R_p, HCO, R_{max}, r_{en}$	R_a, S_m
Контактна жорсткість	$t_p, HCO, R_p, r_e, \beta$	R_a, R_{max}, S
Міцність з'єднань	t_p, HCO, R_p, r_e	R_a, S_m
Корозійна стійкість	R_a, S_m, r_{en}	$R_p, R_{max}, S, t_p, r_e$
Вібростійкість	$HCO, R_p, S_m, r_p, r_e, \beta$	R_{max}, S
Якість посадок	$R_a, S_m, t_p, r_e, \beta$	HCO, R_{max}, S
Щільність (герметичність) з'єднань	$t_p, HCO, R_a, R_p, \beta$	R_{max}, S_m, S
Міцність зчеплення покриттів	R_a, R_p, S_m, β	$HCO, R_{max}, t_p, r_e, r_{en}$
Тепловідбивання	R_a, R_p, S_m, S	HCO, R_{max}, t_p, β

Примітка: скороченням HCO позначений параметр «направлення слідів обробки», β – кут нахилу бокових сторін мікронерівностей

Таблиця 4

Порівняльна таблиця впливу параметрів поверхонь деталей на їх експлуатаційні властивості за різними джерелами

Експлуатаційна властивість	Параметр поверхні	Вплив параметра поверхні на експлуатаційну властивість		
		таблиця 1	таблиця 2	таблиця 3
Втомна міцність	S_m	обмежений	головний	обмежений
	R_p	головний	обмежений	головний
	W_p	обмежений	не впливає	---
	H_{max}	обмежений	не впливає	---
	H_p	обмежений	не впливає	---
Корозійна стійкість	S	обмежений	головний	обмежений
	h_μ	головний	обмежений	---
	h_σ	головний	обмежений	---
	H_p	обмежений	не впливає	---
Щільність з'єднань	R_a	головний	обмежений	головний
	$H_{шов.}$	не впливає	головний	---
	$\sigma_{шов.}$	не впливає	обмежений	---
Контактна жорсткість	S	не впливає	не впливає	обмежений
Вібростійкість	S	не впливає	---	обмежений
Міцність зчеплення покриття	R_a	обмежений	---	головний
	HCO	головний	---	обмежений
Тепловідбивання	HCO	головний		обмежений

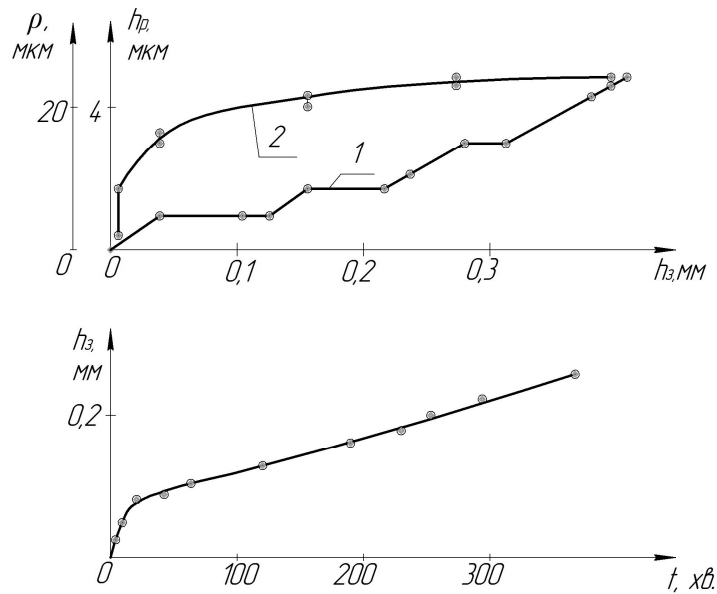


Рис. 1. Розвиток зносу інструменту, оснащеного різцевими вставками з гексаніту-Р при торцевому фрезеруванні сірого чавуну ($V = 13,2$ м/с, $S_z = 0,18$ мм/зуб, $t = 0,3$ мм);
1 – радіальний знос, 2 – радіус округлення різальної кромки, h_3 – фаска зносу по задній поверхні, h_r – радіальний знос, ρ – радіус округлення різальної кромки

Залежність шорсткості R_a обробленої поверхні від величини фаски зносу h_3 при торцевому фрезеруванні інструментом, оснащеним різцевими вставками з гексаніту-Р, наведена на рисунку 2, запозиченому з роботи [11].

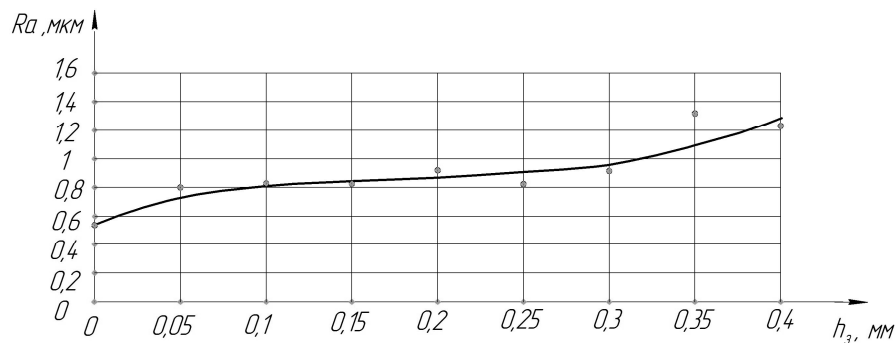


Рис. 2. Залежність середньоарифметичної висоти мікронерівностей R_a від фаски зносу h_3 ($V = 600$ м/хв., $S_z = 0,25$ мм/зуб, $\alpha_1 = 4^\circ$, $\lambda = -30^\circ$, $r = 13$ мм)

В результаті механічної обробки та зношування різального інструменту, крім геометричних параметрів якості оброблених поверхонь, змінюються їх фізико-механічні параметри: величина, характер поширення і знак залишкових напружень; ступінь зміцнення матеріалу поверхневого шару (ΔH_μ); глибина зміцненого шару (h).

Досвід експлуатації виробів, які використовуються в машинобудуванні і експерименти показують, що залишкові напруження впливають на зносостійкість, втомну міцність, корозійну стійкість і в цілому на довговічність деталей, можуть бути однією з причин руйнувань надійних, на перший погляд, конструкцій. Технологічні залишкові напруження при перевищенні допустимих значень у виробах з високою жорсткістю в поверхневому шарі можуть викликати утворення тріщин, а з малою жорсткістю – залишкову деформацію, яка призводить до жолоблення з відповідною втратою точності форми або взаємного розташування поверхонь [7]. При збігу знаку експлуатаційних навантажень зі знаком залишкових напружень може відбутися руйнування виробу при навантаженнях, менших за розрахункові.

Залишкові напруження можна охарактеризувати за допомогою особливих точок на епюрі розподілення (рис. 3) [7].

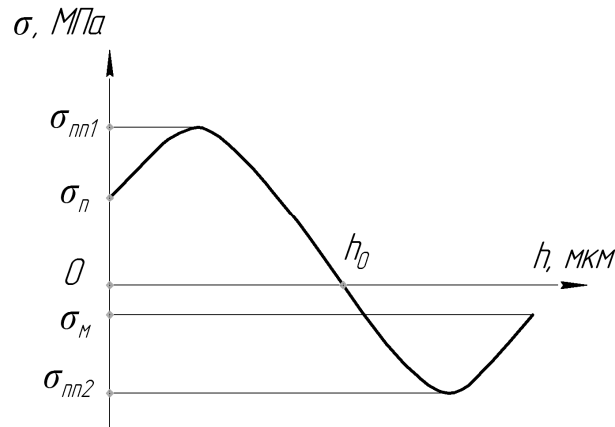


Рис. 3. Особливі точки на епюрі залишкових напружень: σ_n - напруження на поверхні, МПа; σ_{nn1} - напруження максимальні підповерхневі до точки переходу нуля, МПа; σ_{nn2} - напруження максимальні підповерхневі після точки переходу нуля, МПа; σ_m - напруження на вибігу епюри, МПа; h_0 - точка переходу нуля епюри напружень, мкм

В результаті зношування різального інструменту змінюються його геометричні параметри. Зокрема, головний задній кут α при утворенні фаски зносу hz по задній поверхні зменшується до значення $\alpha = 0^\circ$. Це впливає на умови контактування різального інструменту з обробленою поверхнею і викликає її зміцнення. Зміцнений шар характеризується підвищеною твердістю та зносостійкістю. Збільшення зносу різального інструменту і радіуса округлення різальної кромки сприяє збільшенню наклепу в 2–2,5 раза [9].

За даними [8], взаємозв'язок між ступенем зміцнення поверхневого шару та зносом інструменту по задній поверхні виражається рівнянням:

$$u = \frac{m}{0,6HB_{вих}} \left(\frac{4}{\pi} \right)^{\frac{n}{2}} A_r \left(\frac{n-1}{2} \right); \quad (1)$$

де A_r - фактична площа пластичного відбитку від сферичного індентора; m , n - коефіцієнти, які залежать від властивостей оброблюваного матеріалу; $HB_{вих}$ - твердість оброблюваного матеріалу.

Рівняння (1) є вихідним для розрахунку зміцнення при механічних методах обробки без врахування температурних змін, вплив яких на зміцнення поки що не вдається описати математично [8].

При лезовій обробці площа контакту інструменту з заготовкою, що визначає зміцнення, розраховується за формулою:

$$A_r = \left[\arccos \left(1 - \frac{\Delta h}{\rho} \right) + h_\zeta + \frac{\Delta h_{\delta i}}{\sin \alpha} \right] \times \left[\frac{t - R_z}{\sin \varphi} + 4 \arccos \left(1 - \frac{R_z}{r} \right) \right], \quad (2)$$

де h_ζ - знос по задній грані; Δh - пружно-пластичний відтіснений шар оброблюваного матеріалу; $\Delta h_{\delta i}$ - величина пружного відновлення; ρ - радіус округлення різальної кромки; R_z - параметр шорсткості; α - задній кут різця; φ - головний кут в плані.

Ступінь зміцнення і глибина зміцненого шару знаходяться в прямій залежності від ступеня деформації зрізуючого шару і діючих сил різання. Тому в процесі зносу інструменту збільшується ступінь зміцнення поверхневого шару та його глибини. Для вирішення питання - як саме при торцевому фрезеруванні плоских поверхонь деталей інструментом з НТМ знос ножів фрез впливає на ступінь і глибину наклепу та які величини зносу інструменту є граничними щодо забезпечення необхідної якості поверхневого шару, потребують проведення відповідних досліджень.

Висновок. Об'єктивність визначення і забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик поверхневого шару матеріалу є актуальною проблемою машинобудування і може бути досягнута на основі вдосконалення фізико-технологічної теорії нерівностей поверхні та її фізико-технічного стану. Обробка поверхонь новим або щойно заточеним інструментом порівняно зі зношуванням в процесі видалення припуску, забезпечують різні показники параметрів експлуатаційних характеристик і мають бути враховані в умовах автоматизованого виробництва. Інтенсивний процес зношування на початку експлуатації інструменту (до закінчення терміну припрацювання) супроводжується значними коливаннями сил різання, тепловиділення, шорсткості оброблених поверхонь, а також деформацій та залишкових напружень. Ці процеси також настають на початку стадії інтенсивного зношування інструменту.

Подальшими дослідженнями передбачається встановлення аналітичних залежностей щодо визначення експлуатаційних характеристик оброблених плоских поверхонь деталей інструментом з НТМ на різних стадіях його зносу, а також розробка практичних рекомендацій щодо уникнення впливу перехідних процесів у зношуванні на погіршення якості оброблених поверхонь деталей.

Список використаної літератури:

1. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвёрдых материалов / П.В. Захарченко, В.М. Волкогон, А.В. Бочко и др. ; под ред. Г.Г. Карюка. – К. : Наук. думка, 1991. – 288 с.
2. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
3. Дунин-Барковский И.В. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И.В. Дунин-Барковский, А.Н. Карташова. – М. : Машиностроение, 1978. – 232 с.
4. Повышение долговечности машин технологическими методами / В.С. Корсаков, Г.Э. Таурит, Г.Д. Василюк и др. – К. : Техника, 1986. – 158 с.
5. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / О.В. Рыжов, А.Г. Суслов, В.П. Федоров. – М. : Машиностроение, 1979. – 176 с.
6. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.
7. Методика исследования характеристик поверхностного слоя деталей приборов : учеб. пособие / В.А. Валетов, С.Д. Васильков, А.Н. Сисюков и др. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2010. – 92 с.
8. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
9. Любимов В.Е. Технологические основы управления системой резания по параметру шероховатости обработанной поверхности : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.08 / Владимир Евгеньевич Любимов. – К., 1992. – 280 с.
10. Виговський Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Георгій Миколайович Виговський. – К. : НТУУ “КПІ”, 2000. – 164 с.
11. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01 / Петро Петрович Мельничук. – К. : НТУУ “КПІ”, 2002. – 26 с.
12. Лоев В.Ю. Удосконалення фінішної обробки плоских поверхонь деталей комбінуванням різання з поверхневим пластичним деформуванням : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Володимир Юхимович Лоев. – К. : НТУУ “КПІ”, 2005. – 210 с.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- комплексні і комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин;
- конструювання металообробних верстатів та інструментів.

КУДЄЛІН Дмитро Вікторович – аспірант кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2012