

© Ю.Г. Кравченко¹, С.Т. Пацера¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ НА ЗАДНІЙ ПОВЕРХНІ ЗНОСУ ЛЕЗА ПРИ РІЗАННІ

© Yu. Kravchenko¹, S. Patsera¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

STRESS DISTRIBUTION ALONG THE FLANK WEAR SURFACE OF THE BLADE DURING CUTTING OPERATION

Мета роботи – визначити максимальні і середні значення нормальних напружень на ділянці зносу задньої поверхні лека та вивести формулу показника степені функції розподілу нормальних напружень по довжині контакту зношування.

Методика дослідження. Виконання поставленої мети досягається введенням спеціальної функції розподілу нормальних напружень на ділянці зносу задньої поверхні лека на основі максимальних нормальних напружень на різальній кромці зі сторони задньої поверхні лека і показника степені спадної функції. Вихідною базою для визначення параметрів математичної моделі розподілу нормальних напружень на задній поверхні зносу лека і відповідних дотичних напружень служила розроблена система емпіричних залежностей дотичної, радіальної та осьової складових сили різання від глибини, подачі, швидкості різання при певних передньому куті, радіусі при вершині і величині зносу з напрацьованими показниками степені, коефіцієнтом розмірної пропорційності та поправковими коефіцієнтами на марку оброблюваного матеріалу та умови різання.

Результати дослідження. Незважаючи на меншу міцність аустенітна сталь 12Х18Н9Т в порівнянні зі сталлю 45 має більші значення нормальних напружень і показника степені в математичній моделі розподілу напружень при однакових максимальних напруженнях і коефіцієнті тертя.

При збільшенні переднього кута середні значення напружень і показник степені значно зменшуються. При цьому коефіцієнт тертя збільшується. Однак суттєвої залежності максимальних напружень від переднього кута не виявлено.

В цілому розрахунки показали, що передній кут значно впливає на величину і розподіл нормальних напружень на ділянці зносу задньої поверхні, що вказує на зв'язок контактних напружень на передній і задній поверхнях лека через максимальні нормальні напруження на різальній кромці в зоні стружкоутворення.

Наукова новизна. Науковою новизною отриманих результатів для визначення розподілу напружень на задній поверхні зносу лека при різанні є запропоновані сукупність математичних моделей та послідовність їх вирішення, яка формує відповідну алгоритмічну модель.

Практична значимість. Отримані результати розрахунків також дають можливість аналітично визначати розподіл дотичних напружень і силу тертя на задній поверхні зносу лека.

Ключові слова: знос задньої поверхні, розподіл напружень, показник степені залежності, величина зносу, сила тертя, передній кут.

Вступ. На інтенсивність зношування пари тертя впливають високі контактні напруження між взаємодіючими тілами, температура тертя і швидкість відносного переміщення. Величина зносу на задній поверхні в більшості випадків є критерієм періоду стійкості різального інструменту.

Складність прогнозування інтенсивності зношування і розрахунку температури тертя по задній поверхні зносу леза пов'язані із визначенням густини швидкорухомого ν джерела теплоти $q_\alpha = \tau_\alpha \cdot \nu$ через функцію розподілу напружень по ширині h фаски зносу $\tau_\alpha = f(h)$.

Перші дослідження розподілу нормальних і дотичних напружень на задній поверхні зносу леза виконані поляризаційно-оптичним способом при точінні свинцю (швидкість 0,2 мм/с) різцем із прозорого матеріалу [1], де встановлено увігнутий характер епюри зменшення напружень по довжині контакту задньої поверхні із заготівлею. Із-за невідповідності реальним умовам різання конструкційних матеріалів ці дослідження дали тільки загальну картину епюр контактних напружень.

Більш досконалим є спосіб на основі застосування «розрізного різця» з кошою лінією роз'єму, за допомогою якого одержані осцилограми запису нормальних і дотичних контактних навантажень на задній поверхні зносу різця при точінні латуні Л62. На фасці зносу задньої поверхні $h = 0,5$ і $1,0$ мм епюри напружень мали в цілому опуклий характер [2]. Цей спосіб не дав однозначного результату по увігнутому чи опуклому характеру епюр контактних напружень, а зазначена робота не має математичного опису розподілу напружень для можливості аналітичного розрахунку сил тертя на ділянці зносу задньої поверхні леза.

В своїх розрахунках температури різання А.Н. Резников [3] приймав гіпотетично нормальний (експоненціальний опуклий) розподіл напружень по довжині контакту, а С.С. Силін [4] – по закону трикутника.

Мета роботи – визначити максимальні і середні значення нормальних напружень на ділянці зносу задньої поверхні леза та вивести формулу показника степені функції розподілу нормальних напружень по довжині контакту зношування.

Постановка задачі. Виконання поставленої мети досягається введенням спеціальної функції розподілу нормальних напружень на ділянці зносу задньої поверхні леза на основі максимальних нормальних напружень на різальній кромці зі сторони задньої поверхні леза і показника степені спадної функції з урахуванням наробок [1-4].

При подальших викладках розрахункових формул прийняті наступні одиниці виміру фізичних параметрів процесу стружкоутворення при різанні матеріалів:

σ_z – нормальні напруження на задній поверхні зносу леза, МПа;

$\sigma_{0\alpha}$ – максимальні нормальні напруження на різальній кромці, МПа;

$\sigma_{0\gamma}$ – максимальні нормальні напруження на передній поверхні A_γ різця;

σ_α – середнє значення стислих напружень, МПа;

σ_γ – середнє значення нормальних напружень на контакті передньої поверхні леза зі стружкою, МПа;

h – величина зносу задньої поверхні, мм;

- l_γ – довжина ділянки контакту стружки з лезом, мм;
 z – поточне значення величини зносу, мм;
 P_z, P_y, P_x, P_n – відповідно дотична, радіальна, осьова, нормальна складові сили різання, Н;
 t – глибина різання, мм;
 s – подача, мм / об;
 v – швидкість різання;
 γ – передній кут, град;
 r – радіус при вершині різця, мм;
 h – величина зносу по задній поверхні різця, мм;
 x, y, z, η, ν, u – показники степені у емпіричних формулах для визначення величини складових сили різання;
 n, m – показники степені у математичних моделях процесу стружко-утворення (безрозмірні);
 C_p, K_M, K_p – поправкові коефіцієнти, безрозмірні;
 P'_z, P'_n – дотична та нормальна складові сили різання за умов нульового радіусу при вершині леза та відсутності зносу задньої поверхні різця, Н;
 a, b – товщина та ширина зрізу, мм;
 a_c – товщина стружки, мм;
 φ, ϕ – відповідно кут в плані та кут зсуву, град;
 ψ – кут текстури стружки, град;
 ρ_s – кут тертя-зсуву, град;
 μ_s – коефіцієнт тертя-зсуву, безрозмірний;
 l_ϕ – довжина площини зсуву, мм;
 T_s, T_n – дотична і нормальна складові результуючої сили стружкоутворення T , Н;
 $\tau_{0\gamma}$ – дотичні напруження для оброблюваного матеріалу в точці знаходження різальної кромки леза, МПа;
 F і N з індексами γ і α – відповідно сили тертя і тиску на передній A_γ і ділянці зносу задньої A_α поверхнях, Н;
 μ_α – середній коефіцієнт тертя, безрозмірний.

Функцією розподілу нормальних напружень на задній поверхні зносу леза прийнята залежність

$$\sigma_z = \sigma_{0\alpha} \left[1 - \left(\frac{z}{h} \right)^m \right] \quad (1)$$

із показником m (тут $\sigma_{0\alpha}$ – максимальні напруження на різальній кромці, h – величина зносу задньої поверхні, z – поточне значення величини зносу), вивід формули для якого представляє основу даної роботи. При $m < 1$ еюра напружень буде увігнутою по довжині h , а при $m > 1$ – опукла.

Вихідною базою для визначення параметрів формули (1) і відповідних напружень служила розроблена система емпіричних залежностей дотичної P_z , радіальної P_y , осьової P_x складових сили різання (для умов непрямокутного різання нормальна складова дорівнює $P_n = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$) від глибини t , подачі s , швидкості v різання при певних передньому куті γ , радіусі при вершині r , величини зносу h типу

$$P_i = C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^z \cdot (1 - \gamma/90)^\eta \cdot (1 + r)^\nu \cdot (1 + h)^u \cdot K_{Mi} \cdot K_{pi}, \quad (2)$$

з напрацьованими показниками степені $x - u$, коефіцієнтом розмірної пропорційності C_p і поправковими коефіцієнтами на марку оброблюваного матеріалу K_M та умови різання K_p [5].

Така структура системи рівнянь (2) дозволяє обчислювати сили P'_z і P'_n при нульових значеннях параметрів r і h методом «зворотнього розрахунку».

Наглядним інструментарієм для розуміння і визначення контактних напружень на задній поверхні зносу леза слугували рис. 1 і 2.

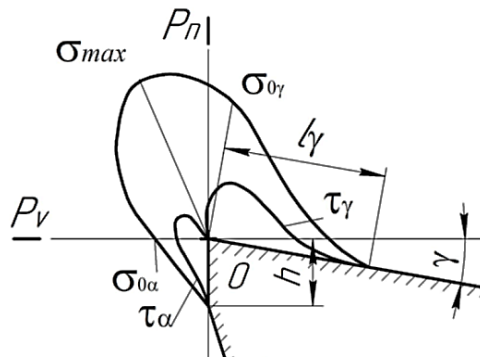


Рис. 1. Епюра нормальних σ і дотичних τ напружень навколо леза (P_γ – основна площина, P_n – площина різання)

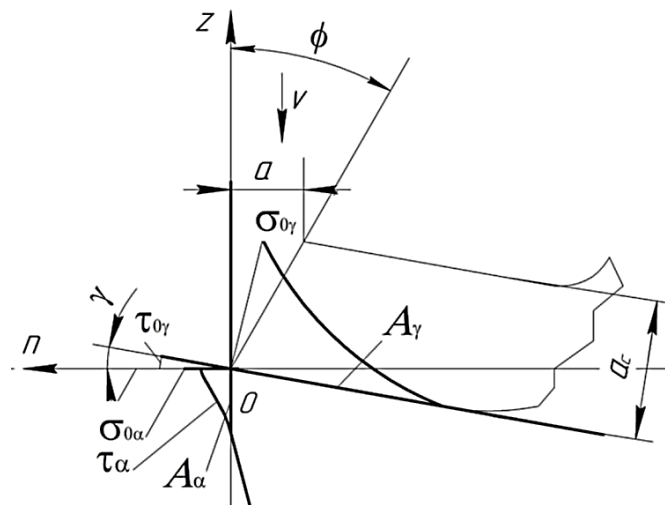


Рис. 2. Схема розташування максимальних нормальних напружень $\sigma_{0\gamma}$ на передній поверхні A_γ і $\sigma_{0\alpha}$ на ділянці зносу задньої поверхні A_α леза

Основна частина. Загальноприйнята в теорії різання [6, 7] епюра напружень в зоні стружко-утворення на основі поляризаційно-оптичного методу і методу «розрізного різця» зображена на рис. 1 в системі координат основної площини P_γ і площини різання P_n ($\sigma_{0\gamma}$ і $\sigma_{0\alpha}$ – максимальні нормальні напруження на ділянках контакту стружки з лезом l_γ і заготівлі з фаскою зносу леза h на задній поверхні).

Епюра нормальних напружень σ для площадок контакту l_γ і h є безперервною, а епюри дотичних напружень τ_γ і τ_α – індивідуальні з нульовим значенням на різальній кромці. Тому основою розрахунків слугують нормальні напруження епюри.

Середнє значення стислих напружень для σ_z (1) визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \sigma_\alpha &= \frac{\sigma_{0\alpha}}{h} \cdot \int_0^h [1 - (z/h)^m] \cdot dz = \\ &= \sigma_{0\alpha} \cdot \int_0^1 [1 - (u)^m] \cdot du = \sigma_{0\alpha} \cdot \frac{m}{m+1}. \end{aligned} \quad (3)$$

В процесі різання на межі поверхні різання і внутрішньої сторони стружки в точці 0 відбувається локальне зм'ягнення (зміцнення) оброблюваного матеріалу навколо різальної кромки леза з утворенням нормальних напружень в секторі $\sigma_{0\gamma} - \sigma_{max} - \sigma_{0\alpha}$ (рис. 1).

Максимальні напруження на різальній кромці леза зі сторони передньої поверхні визначаються за формулою:

$$\sigma_{0\gamma} = \sigma_\gamma \cdot (n+1). \quad (4)$$

Із залежності $\sigma_l = \sigma_{0\gamma} \cdot (1 - l/l_\gamma)^n$ [8].

У $\sigma_{0\gamma}$ (4) середнє значення нормальних напружень на контакті передньої поверхні леза зі стружкою дорівнює:

$$\sigma_\gamma = \frac{N_\gamma}{l_\gamma \cdot b}. \quad (5)$$

Де $N_\gamma = P'_z \cdot \cos \gamma - P'_n \cdot \sin \gamma$ (5.1)

– сила тиску на передній поверхні, P'_z і P'_n – значення дотичної і нормальної складових сили різання при гострому лезі ($h = 0$) [5];

$$l_\gamma = \frac{2a \cdot \cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi \cdot \sin[2(\phi - \gamma + \psi)]} \quad (5.2)$$

– довжина контакту стружки з лезом, $a = s \cdot \sin \phi$ – товщина зрізу, s – подача, ϕ – кут в плані; ϕ – кут зсуву; γ – передній кут леза; $\tan \psi = 2/(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4})$ – кут текстури стружки, $\varepsilon = (1/\tan \phi) + \tan(\phi - \gamma)$ – відносний зсув [9];

$b = t/\sin \phi$ – ширина зрізу (t – глибина різання).

Кут зсуву ϕ для l_γ (5.2) звично визначається через коефіцієнт потовщення стружки $K_a = a_c/a$ (a_c – товщина стружки)

$$\tan \phi = \frac{\cos \gamma}{K_a - \sin \gamma}. \quad (5.3)$$

Значення показника степені n дорівнює [8]

$$n = 2 \left[\frac{l_\gamma \cdot \sin(\rho_s + \phi - \gamma)}{l_\phi \cdot \cos \rho_s} - 1 \right], \quad (6)$$

де $\rho_s = \tan^{-1} \mu_s$ – кут тертя-зсуву в площині зсуву, який визначається через коефіцієнт тертя-зсуву [10]

$$\mu_s = T_s/T_n = (P'_z - P'_n \cdot \tan \phi)/(P'_z \cdot \tan \phi + P'_n) \quad (6.1)$$

зі значеннями P'_z і P'_n при гострому лезі ($h = 0$);

$$l_\phi = a/\sin \phi - \text{довжина площини зсуву.}$$

Кут зсуву ϕ для l_γ (5.2) і n (6) також може визначатися через P'_z і P'_n та постійне значення коефіцієнта тертя-зсуву $u = \mu_s = \tan \rho_s$ для окремих груп оброблюваних сталей [10]

$$\tan \phi = \frac{P'_z - P'_n \cdot u}{P'_z \cdot u + P'_n}. \quad (6.2)$$

Згідно енергетичної теорії міцності для пластичних металів дотичні напруження плинності пов'язані з границею нормальних напружень під час розтягання чи стиску співвідношенням $\tau_s = \sigma_s/\sqrt{3}$. По аналогії із зазначеним положенням прийнято, що дотичні напруження в точці О оброблюваного матеріалу по відношенню до нормальних напружень стиску дорівнюють

$$\tau_{0\gamma} = \frac{\sigma_{0\gamma}}{\sqrt{3}}. \quad (7)$$

При цьому дотичні напруження $\tau_{0\gamma}$ (7) з урахуванням напрямного косинуса до основної площини P_γ стають максимальними нормальними напруженнями до площини різання P_n на початку задньої поверхні A_α (рис. 2)

$$\sigma_{0\alpha} = \tau_{0\gamma} \cdot \cos \gamma \quad (8)$$

для формули σ_α (3).

Основою розрахунків напружень на ділянці зносу задньої поверхні A_α була система рівноваги дотичної P_z і нормальної P_n складових сили різання [5, 11]

$$\begin{cases} P_z = F_\gamma \cdot \sin \gamma + N_\gamma \cdot \cos \gamma + F_\alpha \\ P_n = F_\gamma \cdot \cos \gamma - N_\gamma \cdot \sin \gamma + N_\alpha \end{cases} \quad (9)$$

де F і N з індексами γ і α – сили тертя і тиску на передній A_γ і ділянці зносу задньої A_α поверхнях.

При гострому лезі ($h = 0, F_\alpha = N_\alpha = 0$) із виразів (9) слідує:

$$\begin{cases} F_\gamma = P'_z \cdot \sin \gamma + P'_n \cdot \cos \gamma \\ N_\gamma = P'_z \cdot \cos \gamma - P'_n \cdot \sin \gamma \end{cases} \quad (10)$$

Після підстановки F_γ, N_γ (10) в P_z, P_n (9) визначаємо сили тертя і тиску на ділянці зносу A_α

$$\begin{cases} F_\alpha = P_z - P'_z \\ N_\alpha = P_n - P'_n \end{cases} \quad (11)$$

і середній коефіцієнт тертя

$$\mu_\alpha = \frac{F_\alpha}{N_\alpha} = \frac{P_z - P'_z}{P_n - P'_n} \quad (12)$$

Відповідно середні значення напружень на ділянці зносу A_α дорівнюють

$$\sigma_\alpha = \frac{N_\gamma}{h \cdot b} \quad \text{і} \quad \frac{F_\alpha}{h \cdot b} = \mu_\alpha \cdot \sigma_\alpha \quad (13)$$

Із σ_α (3) при відомих $\sigma_{0\alpha}$ (8) і σ_α (13) знаходимо пошукове значення показника степені

$$m = \frac{\sigma_\alpha}{\sigma_{0\alpha} - \sigma_\alpha} \quad (14)$$

Таким чином, для визначення розподілу напружень на задній поверхні зносу леза при різанні напрацьовано сукупність математичних моделей (формули (1) – (14)) та їх послідовність вирішення, яка формує відповідну алгоритмічну модель. Саме це і є науковою новизною отриманих результатів.

Реалізація і аналіз. Необхідні параметри залежностей P_i (2) для базових за оброблюваністю сталей наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів пропорційності C_p

(чисельник – сталь 45, $\sigma_B = 750$ МПа – твердий сплав Т15К6, знаменник – сталь 12Х18Н9Т, $\sigma_B = 600$ МПа – твердий сплав ВК8) і показників степені $x - u$ залежностей (2) при $\varphi = \varphi' = 45^\circ$ і сухому різанні [5, 10]

Найменування сил, Н	C_p	x	y	$-z$	η	v	u
		t , мм	s , мм/об	v , м/с	$\left(1 - \frac{\gamma}{90}\right)$	$(1 + r)$, мм	$(1 + h)$, мм
Дотична P_z	1560/1790	1,00	0,75	0,15	1,1	0,1	0,4
Радіальна P_y	620/809	0,90	0,60	0,30	2,8	0,3	1,4
Осьова P_x	437/460	1,00	0,50	0,40	2,4	-0,2	1,2

1. Вплив марки оброблюваної сталі на показник степені m (14).

Алгоритм і результати розрахунків елементних показників по залежностям P_i (2) і даним табл. 1 зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення параметрів і елементних показників процесу точіння
(глибина $t = 2,8$ мм, ширина зрізу $b = 4$ мм)

Найменування параметрів і показників процесу			Умови точіння і розрахункові значення для		
			сталі 45	сталі 12Х18Н9Т	
Режими різання і геометрія леза	подача s , мм/об		0,35	0,44	
	швидкість v , м/с		2	1	
	кут γ , °		10	15	
	знос h , мм		0,5	0,4	
Перетин зрізу	товщина a , мм		0,25	0,31	
Сили різання при $r = 0, h = 0$	дотична P'_z		(2), Н	1575	2206
	нормальна P'_n			640	920
Передня поверхня A_γ	сила N_γ (5.1), Н		1439	1896	
	коефіцієнт K_a		2	1,8	
	коефіцієнт u (6.1)		0,83	0,71	
	довжина l_γ (5.2), мм		0,99	1,11	
	кут зсуву ϕ (5.3), °		28	32	
	напруження σ_γ (5), МПа		363	427	
	показник n (6)		2,12	1,65	
Різальна кромка	максимальні напруження	$\sigma_{0\gamma}$ (4),	МПа	1136	1132
		$\sigma_{0\alpha}$ (8),		646	642
Сили різання при $r = 0$ і h	дотична P_z		(2), Н	1852	2524
	нормальна P_n			1094	1441
Задня поверхня A_α	сила	тиску N_α	(11), Н	454	521
		тертя F_α		277	318
	коефіцієнт тертя μ_a (12)		0,61	0,59	
	напруження	σ_α	(13), МПа	227	325
		τ_α		138	193
показник m (14)		0,54	1,06		

2. Вплив переднього кута γ .

Залежність досліджуваних показників від найважливішого параметру геометрії леза наведена в табл. 3.

Таблиця 3

Значення показників процесу точіння сталі 45 в залежності від переднього кута γ (товщина зрізу $a = 0,25$ мм, ширина зрізу $b = 4$ мм, швидкість $v = 2$ м/с, величина зносу $h = 0,5$ мм, коефіцієнт і кут тертя зсуву $\mu_s = 0,83$ і $\rho_s = 39,8^\circ$)

Позначення показників		Результати визначення для переднього кута γ , град			
		0	10	20	
Кут зсуву ϕ (5.3, 6.2), град		24	28	33,7	
Показник степені n (6)		1,4	2,1	2,2	
Напруження σ_γ (5), МПа		396	363	312	
Максимальні напруження	$\sigma_{0\gamma}$ (4),	МПа	946	1132	992
	$\sigma_{0\alpha}$ (8),		546	646	538
Нормальна сила	P'_n при $h = 0$	(2), Н	880	640	450
	P'_n при $h = 0,5$		1491	1094	767
Нормальна сила N_α (11), Н		611	454	317	
Коефіцієнт тертя μ_a (12)		0,51	0,61	0,75	
Напруження σ_α (13) МПа		305	227	159	
Показник m (14)		1,26	0,54	0,42	

3. Вплив величини зносу h задньої поверхні леза на показники процесу точіння сталі 45 представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Залежність показників процесу точіння сталі 45 від величини зносу при $a = 0,25$ мм, $b = 4$ мм, $v = 2$ м/с, $\gamma = 10^\circ$, $\phi = 28^\circ$ і $\sigma_{0\alpha}$ (8) = 646 МПа

Позначення показників	Результати визначення для величини зносу h , мм		
	0,2	0,5	0,8
Коефіцієнт тертя μ_a	0,68	0,61	0,55
Напруження σ_α (13) МПа	216	227	240
Показник m (14)	0,50	0,54	0,59

Незважаючи на меншу міцність σ_B аустенітна сталь 12Х18Н9Т в порівнянні зі сталлю 45 має більші значення напружень σ_α (13) і показника степені m (14) при однакових максимальних напруженнях $\sigma_{0\alpha}$ (8), і коефіцієнту тертя μ_α (12).

При збільшенні переднього кута γ середні значення напружень σ_α (13) і показник m (14) значно зменшуються (від опуклої форми епюр розподілу при $\gamma = 0^\circ$ до ввігнутої при $\gamma = 20^\circ$). При цьому коефіцієнт тертя μ_a збільшується. Однак суттєвої залежності максимальних напружень $\sigma_{0\alpha}$ від кута γ не виявлено.

В цілому розрахунки показали, що передній кут γ значно впливає на величину і розподіл нормальних напружень на ділянці зносу задньої поверхні, що вказує на зв'язок контактних напружень на передній і задній поверхнях леза через максимальні напруження на різальній кромці $\sigma_{0\gamma}$ (4) в зоні стружкоутворення.

Також розрахунки свідчать, що по мірі зростання зносу h відбуваються лише незначні зменшення коефіцієнта тертя μ_a і збільшення середніх нормальних напружень σ_α та показника степені m .

В підсумку розподіл дотичних напружень на задній поверхні зносу леза складає

$$\begin{aligned}\tau_z &= \mu_a \cdot \sigma_\alpha \cdot \left[(m+1)/m \right] \cdot (1 - \psi^m) = \\ &= \mu_a \cdot \sigma_{0\alpha} \cdot (1 - \psi^m) \quad \text{з } \psi = z/h,\end{aligned}$$

а сила тертя дорівнює

$$F_\alpha = \mu_a \cdot \sigma_\alpha \cdot h \cdot b = \mu_a \cdot \sigma_{0\alpha} \cdot \left[m/(m+1) \right] \cdot h \cdot b.$$

Висновки.

1. Науковою новизною отриманих результатів для визначення розподілу напружень на задній поверхні зносу леза при різанні є запропоновані сукупність математичних моделей та послідовність їх вирішення, яка формує відповідну алгоритмічну модель.

При цьому основою виведеної формули визначення показника степені функції розподілу нормальних напружень на задній поверхні зносу леза є максимальні напруження на різальній кромці зі сторони задньої поверхні і середні значення напружень на ділянці зносу.

В свою чергу максимальні напруження на ділянці зносу визначаються через максимальні напруження на різальній кромці зі сторони передньої поверхні леза.

2. При однакових максимальних напруженнях і коефіцієнту тертя сталь 12Х18Н9Т з гіршою оброблюваністю у порівнянні зі сталлю 45 має значно більші значення середніх напружень і показника степені функції розподілу напружень.

3. Збільшення переднього кута леза призводить до значного зменшення середніх напружень і показника степені функції розподілу та збільшення коефіцієнту тертя. Середні напруження на ділянці зносу задньої поверхні складають 0,8 – 0,5 ($\gamma = 0 - 20^\circ$) величини середніх напружень на передній поверхні леза.

4. Зростання зносу задньої поверхні призводить до незначного збільшення середніх напружень і показника степені функції розподілу (епюри напружень стають менш спадними).

5. Отримані результати розрахунків дають можливість аналітично визначити розподіл дотичних напружень і силу тертя на задній поверхні зносу леза.

Перелік посилань

1. Полетика, М.Ф. (1969) *Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента*. Машиностроение.
2. Остафьев, В.А. (1979) *Расчет динамической прочности режущего инструмента*. Машиностроение.
3. Резников, А.Н. (1981). *Теплофизика процессов механической обработки материалов*. Машиностроение.
4. Силин, С.С., (1979) *Метод подобия при резании металлов*. Машиностроение.
5. Кравченко, Ю.Г., Дербаба, В.А. & Крюкова, Н.В. (2015). К вопросу эмпирического определения напряжения и коэффициентов трения при стружкообразовании. *Резание и инструмент в технологических системах*, 85, 137–148.
6. Бобров, В.Ф. (1975) *Основы теории резания металлов*. Машиностроение.
7. Мазур, М.П. (ред.), Внуков, Ю.М., Доброскок, В.Л., Залого, В.О., Новосьолов, Ю.К. & Якубов, Ф.Я. (2011) *Основы теорії різання матеріалів*. Львів: Новий світ-2000.
8. Кравченко, Ю.Г. & Дербаба, В.А. (2021) Патент України на корисну модель 146482. 24.02.2021. Київ: УПВ, Бюл. інф. 8/2021.
9. Кравченко, Ю.Г., Дербаба, В.А. & Пугач, Р.С. (2018) Патент України на винахід 118302. 26.12.2018. Київ: УПВ, Бюл. інф. 24/2018.
10. Кравченко, Ю.Г. & Дербаба, В.А. (2020) Патент України на винахід 140418. 25.02.2020. Київ: УПВ, Бюл. інф. 4/2020.
11. Зорев, Н.Н. (1956) *Вопросы механики процесса резания металлов*. Машгиз

АННОТАЦИЯ

Цель работы – определить максимальные и средние значения нормальных напряжений на площадке износа задней поверхности лезвия и вывести формулу показателя степени функции распределения нормальных напряжений на длине контакта износа.

Методика исследования. Выполнение поставленной цели достигается введением специальной функции распределения нормальных напряжений на площадке износа задней поверхности лезвия на основе максимальных нормальных напряжений на режущей кромке со стороны задней поверхности лезвия и показателя степени ниспадающей функции. Исходной базой для определения параметров математической модели распределения нормальных напряжений на задней поверхности износа лезвия и соответствующих касательных напряжений использована разработанная система эмпирических зависимостей касательной, радиальной и осевой составляющих силы резания от глубины, подачи, скорости резания при определенных переднем угле, радиусе при вершине и величине износа с наработанными показателями степени, коэффициентом размерной пропорциональности и поправочными коэффициентами на марку обрабатываемого материала и условия резания.

Результаты исследований. Несмотря на меньшую прочность аустенитная сталь 12X18H9T в сравнении со сталью 45 имеет большие значения нормальных напряжений и показателя степени в математической модели распределения напряжений при одинаковых максимальных напряжениях и коэффициенте трения.

При увеличении переднего угла средние значения напряжений и показатель степени значительно уменьшаются. При этом коэффициент трения увеличивается. В то же время существенной зависимости максимальных напряжений от переднего угла не выявлено.

В целом расчеты показали, что передний угол значительно влияет на величину и распределение нормальных напряжений на площадке износа задней поверхности, что указывает на связь контактных напряжений на передней и задней поверхностях лезвия через максимальные нормальные напряжения на режущей кромке в зоне стружкообразования.

Научная новизна. Научной новизной полученных результатов для определения распределения напряжений на задней поверхности износа лезвия при резании являются предложенные совокупность математических моделей и последовательность их решений, которые формируют соответствующую алгоритмическую модель.

Практическое значение. Полученные результаты расчетов позволяют также аналитически определять распределение касательных напряжений и силу трения на задней поверхности износа лезвия.

Ключевые слова: *износ задней поверхности, распределение напряжений, показатель степени зависимости, величина износа, сила трения, передний угол.*

ABSTRACT

The purpose of the paper is to determine the maximum and average values of normal stresses at the flank wear surface area of the blade and derive a formula for the exponent of distribution function for normal stresses along the length of the wear contact.

The research technique consists in introducing a special distribution function for normal stresses at the flank wear surface area of the blade based on the maximum normal stresses at the cutting edge from the side of the rear surface of the blade and the exponent of the decreasing function. The starting basis for determining the parameters of the mathematical model of distribution of normal stresses on the flank wear surface of the blade and corresponding tangential stresses is the developed system of empirical dependences of the tangential, radial and axial components of the cutting forces on the depth, feed and cutting speed at the certain front rake angle, nose radius and the magnitude of wear with generated exponents of a power, dimensional proportionality factor and correction factors for the grade of the material being machined and cutting conditions.

Research results. Despite the lower strength, austenitic steel 12KH18N9T/12X18H9T in comparison with steel 45 has larger values of normal stresses and exponent of a power in the mathematical model of stress distribution given equal maximum stresses and coefficient of friction.

An increase in the front rake angle leads to a considerable decrease in the average values of stress and the exponent of a power. In this case, the coefficient of friction increases. At the same time, there was no significant dependence of the maximum stresses on the front rake angle.

In general, the calculations showed that the front rake angle significantly affects the magnitude and distribution of normal stresses at the flank wear surface area, suggestive of the relationship of contact stresses at the front and rear surfaces of the blade through the maximum normal stresses on the cutting edge in the chip formation zone.

Scientific novelty. The scientific novelty of the obtained results for determining the stress distribution on the rear surface of the blade wear during cutting is the proposed set of mathematical models and the sequence of their solution, which forms the appropriate algorithmic model.

Practical importance. The obtained calculation results allow the analytical determination of the distribution of shear stresses and the friction force at the flank wear surface of the blade.

Keywords: *rear surface wear, stress distribution, exponent of dependence, magnitude of wear, force of friction, front rake angle.*