

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТАМИ З ВІД'ЄМНИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ПЕРЕДНІХ КУТІВ

Працездатність машин значною мірою залежить від характеристик окремих деталей, що входять в їх склад. Це вимагає вирішення завдань по досягненню необхідної геометричної точності деталей, фізико-механічних характеристик поверхневого шару. При проектуванні інструментів виникають питання їх раціональних форм і геометрії для забезпечення заданої якості поверхні. Значний вплив на стан поверхневого шару має передній кут інструменту, величина якого для ряду інструментів коливається в широких межах. Для формування напруг стискування рекомендується використовувати від'ємні значення передніх кутів. При цьому, для інструментів, виготовлених з твердих сплавів, мінералокераміки, керметів і надтвердих матеріалів, в більшості випадків використовуються від'ємні передні кути в межах $\gamma = -10 \dots -60^\circ$, а при абразивній обробці передній кут може бути близьким $\gamma = -90^\circ$. Відмічена недостатня вивченість механізму утворення стружки у процесі різання металів лезовим інструментом з великими від'ємними передніми кутами, запропоновані методи оцінки низки характеристик утворення стружки та наведені приклади їх реалізації у разі порівняння розрахункових значень з експериментальними при обробці різанням деталей із свинцю.

***Ключові слова:** різання; механізм утворення стружки; лезовий інструмент; від'ємний передній кут.*

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Працездатність машин значною мірою залежить від характеристик окремих деталей, що входять до їх складу. Це вимагає вирішення завдань з досягнення необхідної геометричної точності деталей, фізико-механічних характеристик поверхневого шару. У процесі експлуатації деталей на них діють знакозмінні силові навантаження, теплові джерела, агресивні середовища. Деталі мають протистояти зовнішнім впливам протягом заданого періоду роботи – це забезпечуватиме надійну роботу механізмів і машин у цілому. При цьому від якості поверхневого шару залежать експлуатаційні властивості деталей – опір втомі, зносостійкість, корозійна стійкість тощо.

На поверхневий шар деталі впливають фізико-хімічні явища: механічні, теплові, магнітоелектричні, світлові, хімічні, внаслідок чого під час експлуатації відбувається зношування, ерозія, кавітація, корозія, виникають тріщини та інші руйнування.

Дослідженнями встановлено, що залежно від виду обробки, геометрії інструмента і режиму обробки в поверхневому шарі можуть формуватися різні напружені стани. Так під час абразивної обробки в зоні обробки виникають високі температури різання, які викликають появу розтягальних напруження у поверхневих шарах, що негативно впливає на експлуатаційні характеристики деталей. Під час лезової обробки матеріалів різанням переважний вплив силового чинника призводить до появи в поверхневому шарі напруг стискування, що гарантує поліпшення фізико-механічних характеристик і підвищення зносостійкості деталей.

Під час проектування інструментів виникають питання їх раціональних форм і геометрії для забезпечення заданої якості поверхні. Значний вплив на стан поверхневого шару має передній кут γ , величина якого для низки інструментів коливається в широких межах. Для формування напруг стискування рекомендується використовувати від'ємні значення передніх кутів. При цьому для інструментів, виготовлених з твердих сплавів, мінералокераміки, керметів і надтвердих матеріалів переважно використовуються від'ємні передні кути [1–9] в межах $\gamma = -10 \dots -60^\circ$, а під час абразивної обробки передній кут може бути близьким $\gamma = -90^\circ$ [10]. Різання металів інструментами з від'ємними передніми кутами має свої особливості, що ставить завдання їх подальшого вивчення.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є дослідження процесу обробки деталей інструментами з малими значеннями передніх кутів.

Стружкоутворення у процесі різання металів інструментами з від'ємними передніми кутами $\gamma > -10^\circ$ вивчено до відносного часу, недостатньо. Перші відомості з цього питання стосуються різання одиничним зерном під час шліфування [10], при цьому величина передніх кутів абразивних зерен може бути до $\gamma = -90^\circ$. Відзначено, що важливими параметрами, від яких залежить чи буде утворюватися стружка, чи замість різання відбуватиметься відтискування матеріалу, є передній кут інструмента й

ширина різання. Перехід від відтискування до різання залежить від умов тертя на контактних поверхнях інструмент–стружка. Вивченням процесу обробки шляхом миттєвої зупинки процесу різання [11, 12] визначено, що перед передньою поверхнею інструмента матеріал зрізається у вигляді стружки, обмежується зоною, розташованою перед застійною зоною. Стверджується, що застійна зона відіграє важливу роль у процесі утворення стружки і діє як різальна кромка з меншим від’ємним переднім кутом, ніж у вихідного інструмента.

Зазначимо, що під час різання інструментом з переднім кутом у межах $\pm 15^\circ$ вплив застійної зони на характеристики стружкоутворення у процесі різання металів достатньо повно вивчені дослідженнями [13, 14]. Автори встановили зв’язок умов контактної взаємодії інструмент–стружка з видом залежності $T-V$ (стійкість інструмента–швидкість різання) і характером зношування контактних поверхонь інструмента.

У дослідженнях стружкоутворення під час різання лезовим інструментом з від’ємним переднім кутом $\gamma > -15^\circ$ становлять інтерес результати, що наведені в [15]. Вивчалася перетворення об’єму матеріалу значних розмірів на стружку під час різання відпаленого за температури 100°C свинцю. Процес деформації металу вивчали методом кінцевих елементів у поєднанні з еталонною сіткою. Деформацію еталонної сітки спостерігали в процесі різання крізь скло, що обмежує бокове відтікання металу. Сили різання вимірювали за допомогою спеціального динамометра (подовженого восьмикутного кільця з дротяними тензометричними датчиками), використовували інструмент із передніми кутами $0^\circ, -15^\circ, -30^\circ, -45^\circ, -60^\circ$. Зразок зі свинцю мав розміри $40 \times 150 \times 2,2$ мм; ширина різця (довжина різальної кромки) дорівнювала товщині зразка – $l = 2,2$ мм; різання здійснювалося при товщині зрізаного шару $a = 3$ мм зі швидкістю $V = 26$ мм/хв. У [15] представлені дані механічного випробування оброблюваного матеріалу з визначення кривої течії та експериментального визначення кута умовної площини зсуву в процесі різання за деформацією еталонної сітки. Ці дані дають можливість аналізувати вплив великих від’ємних передніх кутів інструмента на низку характеристик процесу стружкоутворення на основі їх оцінки розрахунковими методами.

Виконаємо розрахунок основних характеристик стружкоутворення під час різання відпаленого свинцю з урахуванням експериментального різання цього матеріалу на зазначених вище умовах.

Відповідно до механічних випробувань свинцю залежність напруги від деформації (ступеня відносного зсуву) при $\varepsilon > 0,1$ виражається співвідношенням $\sigma = 17,5 \varepsilon^{0,1}$ Н/мм² та у вказаних нижче межах ε напруження σ має значення (табл. 1):

Таблиця 1

Залежність напруження σ від ступеня відносного зсуву ε

ε	2,0	2,5	3,0	3,5	7,0	7,5
σ , Н/мм ²	18,8	19,2	19,5	19,8	21,3	21,4

Під час різання значення відносного зсуву ε та усадки стружки K_L , які характеризують деформацію зрізаного шару різцями з різними передніми кутами, наведені в таблиці 2. Вони розраховані за

залежностями, відповідно, $\varepsilon = \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)}$ та $K_L = \frac{\cos(\gamma - \phi)}{\sin \phi}$, які отримані в результаті

перетворення відомих співвідношень $\varepsilon = \frac{(K_L^2 - 2K_L \cdot \sin \gamma + 1)}{K_L \cdot \cos \gamma}$ і $\text{tg} \phi = \frac{\cos \gamma}{(K_L - \sin \gamma)}$ [13] для випадків

різання інструментом з $\gamma > 0^\circ$.

Таблиця 2

Значення деформаційних характеристик стружки під час різання свинцю інструментом з різними передніми кутами

γ , град	0	-15	-30	-45	-60
ϕ	40	30	24	19	15
ε	2,03	2,73	3,62	4,95	7,46
K_L	1,179	1,414	1,445	1,346	1,0

Геометрична модель (схема) стружкоутворення представлена на рисунку 1, де a – товщина зрізаного шару металу, a_1 – товщина стружки, c – довжина контакту стружки з інструментом, γ, α – відповідно передній і задній кути інструмента, лінія OA – проекція умовної площини зсуву, ϕ – кут площини зсуву; вектори сил: R_τ – у площині зсуву, R_z, R_y – тангенціальна та радіальна сили різання, R – рівнодійна сил стружкоутворення, F і N – відповідно сила тертя і нормальна сила на передній поверхні інструмента; ω – кут дії рівнодійної сили R .

Сила, що діє в умовній площині зсуву:

$$R_\tau = \tau_\phi \left(a \cdot \frac{l}{\sin \phi} \right), \quad (1)$$

де $\tau_\phi = 20 \text{ Н/мм}^2$ – напруга зсуву; a, l – відповідно товщина і ширина зрізаного шару металу. Наведені значення τ_ϕ прийняли як середнє значення σ результатів механічного випробування свинцю для $\varepsilon = 2,0 \dots 7,5$, відповідне різанню інструментом із зазначеними вище передніми кутами.

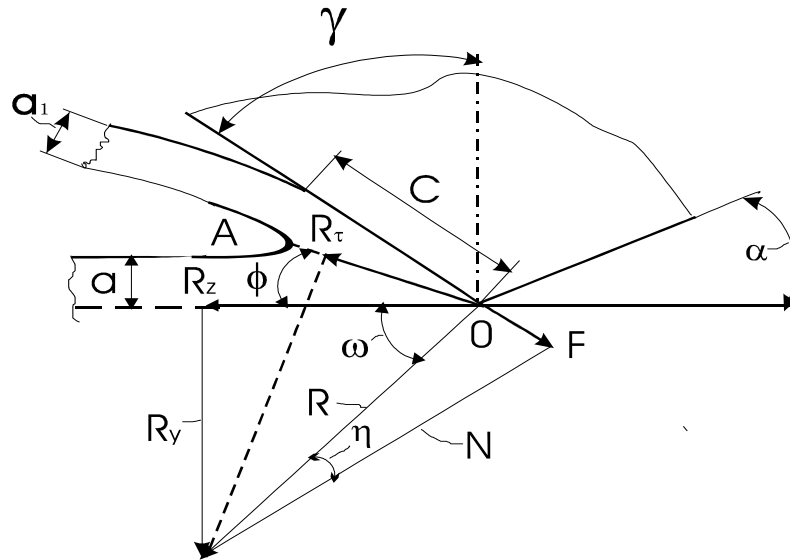


Рис. 1. Геометрична модель стружкоутворення

Довжину площі контакту стружки з інструментом визначили за залежністю [16]:

$$C = \frac{2a \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}{\sin \phi \cdot \sin\left[\left(\frac{\pi}{4}\right) + \phi - \gamma\right]}, \quad (2)$$

виведеною для випадків різання інструментом з $\gamma = -10^\circ \div +10^\circ$ на підставі положення про те, що рівнодійна R сил стружкоутворення незалежно від їх природи спрямована під кутом $\left(\frac{\pi}{4}\right)$ відносно умовної площини зсуву, тобто $(\phi + \omega) = \frac{\pi}{4}$, що відповідає рівнянню Ли-Шаффера [17]. Зауважимо, що численні перевірки результатів вимірювання сил різання різними дослідниками під час обробки великої кількості марок металевих матеріалів показали, що керуючись зазначеним положенням, можна достатньо точно вирішувати практичні та теоретичні завдання обробки металів різанням інструментом з $\gamma = -10^\circ \dots +10^\circ$.

Значення довжини C контакту стружки з інструментом, розраховані за (2) для кожного переднього кута γ , наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Залежність довжини C контакту стружки

з передньою поверхнею від величини переднього кута γ

γ , град.	0	-15	-30	-45	-60
C , мм	6,62	8,48	10,50	13,76	18,9

Сили тертя на передній поверхні інструмента розраховували за співвідношенням:

$$F = C \cdot l \cdot q_F, \quad (3)$$

де $q_F = 0,28\tau_\phi$ [7] – дотичні напруження в контактні стружки з інструментом.

Значення R , розраховані за (1), наведені в таблиці 6, а значення сили F , розраховані за (3) для кожного кута γ інструмента (табл. 4).

Таблиця 4

Залежність сили F
від величини переднього кута γ

γ , град.	0	-15	-30	-45	-60
F , Н	81,6	104,5	125,23	169,8	233,2

Визначивши значення R та F , кут дії ω рівнодійної R сил стружкоутворення знайдемо за формулою, виведеною виходячи з того, що, з одного боку, $R = \frac{R_\tau}{\cos(\phi + \omega)}$, а з іншого –

$R = \frac{F}{\cos[90^\circ - (\omega - \gamma)]} = \frac{F}{\sin(\omega - \gamma)}$. Прирівнявши ці два вирази і зробивши відповідні перетворення, отримаємо теоретичне значення кута дії:

$$\omega_T = \text{arctg} \left(\frac{R_\tau \sin \gamma + F_T \cos \phi}{R_\tau \cos \gamma + F_T \sin \phi} \right), \quad (4)$$

теоретичні значення ω_T , розраховані за (4), наведені в таблиці 6.

Нормальні сили на передній поверхні інструменту для кожного значення його кута $N = F \cdot \text{ctg}(\omega_T - \gamma)$.

Таблиця 5

Залежність сили N від величини переднього кута γ

γ , град.	0	-15	-30	-45	-60
N , Н	337,3	452,6	725,0	1272,6	2836,5

Визначення сил R_τ і F_T та кута ω умовної площини зсуву (4) дає можливість розрахувати інші характеристики стружкоутворення (рис. 1):

$$R = \frac{R_\tau}{\cos(\phi + \omega_T)}, \quad R_Z = R \cdot \cos \omega_T, \quad R_Y = R \cdot \sin \omega_T,$$

кут тертя $\eta = (\omega_T - \gamma)$; коефіцієнт тертя $\mu = \text{tg} \eta$ і сума кутів $(\phi + \omega)$. Значення всіх зазначених характеристик стружкоутворення для порівняння, наведені в таблиці 6 під рискою, а відповідні їм експериментальні дані – над рискою.

Таблиця 6

Порівняльна таблиця експериментальних значень характеристик стружкоутворення під час різання свинцю різцем з різними передніми кутами γ

γ , град.	ϕ , град.	R , Н	F , Н	ω , град.	R , Н	R_z , Н	R_y , Н	η , град.	μ	N , Н	τ_ϕ , Н/мм ²
0	40	<u>48,78</u> 205,4	<u>330,3</u> 81,4	<u>44,1</u> 13,6	<u>474,5</u> 346,1	<u>340,7</u> 336,4	<u>330,2</u> 81,4	<u>44,1</u> 13,6	<u>0,97</u> 0,24	<u>340,7</u> 336,4	<u>330,2</u> 81,4
-15	30	<u>19,8</u> 264,0	<u>588,7</u> 104,6	<u>58,75</u> 28,0	<u>907,2</u> 465,0	<u>470,6</u> 410,6	<u>775,6</u> 218,3	<u>40,46</u> 13,0	<u>0,85</u> 0,23	<u>690,2</u> 453,0	<u>1,5</u> 20

-30	24	$\frac{110,4}{324,5}$	$\frac{657,3}{125,1}$	$\frac{61,3}{39,8}$	$\frac{1347,3}{735,0}$	$\frac{647,0}{564,7}$	$\frac{1181,8}{407,5}$	$\frac{29,2}{9,8}$	$\frac{0,56}{0,17}$	$\frac{1176,0}{724,3}$	$\frac{6,8}{20}$
-45	19	$\frac{341,1}{405,4}$	$\frac{378,2}{169,8}$	$\frac{59,78}{52,6}$	$\frac{1753,0}{1284,0}$	$\frac{882,3}{780,0}$	$\frac{1515,0}{1020,0}$	$\frac{12,46}{7,6}$	$\frac{0,22}{0,13}$	$\frac{1711,6}{1272,6}$	$\frac{16,8}{20}$
-60	15	$\frac{401,3}{510}$	$\frac{99,8}{233,5}$	$\frac{64,9}{64,7}$	$\frac{2288,3}{2850,0}$	$\frac{970,7}{1218,0}$	$\frac{2072,2}{2576,6}$	$\frac{2,5}{4,7}$	$\frac{0,04}{0,08}$	$\frac{2286,0}{2840,1}$	$\frac{15,7}{20}$

Примітка: над рискою експериментальні дані [15], під рискою – розрахункові

Порівнюючи розрахункові значення характеристик стружкоутворення з експериментальними, можна відзначити збіг значень тангенціальної складової R_z сили стружкоутворення. Під час різання різцем з $\gamma=0^\circ$ вони практично збігаються, а з $\gamma=-15^\circ \dots -45^\circ$ розрізняються в середньому на 12,3 %, що для даних умов пластичної деформації металу припустимо вважати несуттєвим.

У разі випадку різання різцем з $\gamma=-60^\circ$ вони розрізняються приблизно на 25 %, що можна пояснити похибками експерименту.

Близькість значень складової R_z сили стружкоутворення до розрахункових та значне розходження інших характеристик стружкоутворення пояснюється лише відмінностями в оцінках сили тертя F (рис. 1) на передній поверхні інструмента, яка визначає величину складової R_y сили стружкоутворення і, відповідно, кута дії ω результуючої сили R . Різниця у значенні напруження τ_ϕ в умовній площині зсуву можна пов'язувати зі зміною ступеня деформації зрізаного шару металу різцем із різним переднім кутом γ , оскільки в експериментах мають місце випадки зменшення τ_ϕ зі збільшенням ступеня деформації ε і збільшенням кута γ (табл. 6), що суперечить відомим положенням теорії пластичності. Сила R , діюча в умовній площині зсуву в експериментах, значно менше розрахункової, особливо у разі різання інструментом з кутом до $\gamma=-45^\circ$ включно.

Близькість експериментальних значень складової R_z сили стружкоутворення до розрахункових та значне розходження інших характеристик стружкоутворення можна пояснити тим, що експериментальні значення сили тертя F і радіальні R_y містять у собі сили, які не беруть участь безпосередньо в стружкоутворенні, обумовлені тертям стружки, що перешкоджає бічній деформації, тобто збільшенню її ширині. Така деформація зрізаного шару при переході його в стружку при різанні свинцю за даними роботи [13] є суттєвою.

На підставі викладеного вище виглядає непереконливим висновок, зроблений авторами [15] про те, що залежність між кутом Φ і кутом $\omega=(\eta-\gamma)$, показана на рисунку 2 прямою 1, аналогічна рівнянню

Ли-Шаффера $(\phi+\omega)=\frac{\pi}{4}$ [17], представленому прямою 2, і те, що відзначається вона лише тим, що визначеному куту ϕ відповідає більший кут ω через високе напруження стискування, зумовленого великим від'ємним переднім кутом інструмента.

Залежність, що відображає зв'язок між кутами ϕ и ω за розрахованими даними, зображена на рисунку 2 прямою 3. Вплив від'ємного переднього кута γ інструмента на кут дії ω сили стружкоутворення R оцінити за даними [15] неможливо, оскільки відсутні дані про фактичне значення усадок стружки і про дійсне значення переднього кута, що визначало характер стружкоутворення. Деформація відносного зсуву ε визначалася не за усадкою стружки, а за кутом ϕ і номінальним значенням переднього кута інструмента. У даному випадку необхідність визначення дійсного значення переднього кута інструмента обумовлена тим, що автори [15] стверджують, посилаючись на [11, 12], що в дослідях під час різання інструментом з великим від'ємним переднім кутом утворюється перед інструментом застійна зона, яка змінює передній кут інструмента. Відхилення розрахункового значення суми кутів $(\phi+\omega)$ від $(\phi+\omega)=\frac{\pi}{4}$ становить під час різання інструментом з $\gamma=0^\circ$ и $\gamma=-15^\circ$ відповідно

16 і 24 %. Таке відносно несуттєве збільшення розрахункового значення $(\phi+\omega)$ від $\frac{\pi}{4}$ обумовлено в першому випадку, ймовірно, зміною дійсного переднього кута різального клину за рахунок застійної зони, а в другому – впливом власного кута γ від'ємного номінального значення.

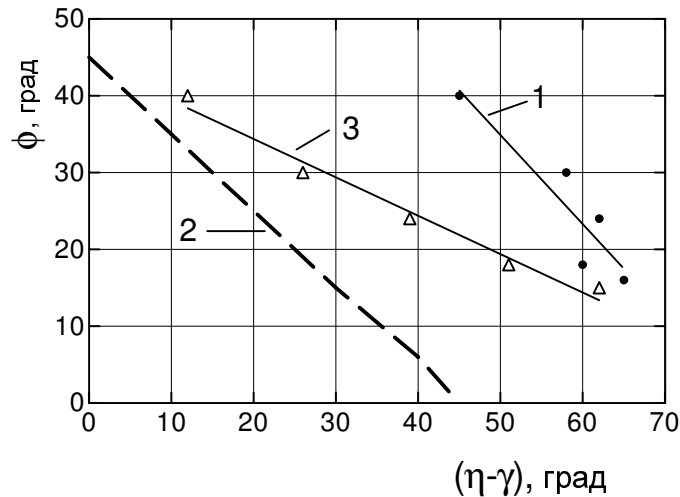


Рис. 2. Залежність між кутами ϕ і $\omega = (\eta - \gamma)$:
 1 – експеримент; 2 – за Лі-Шаффером; 3 – розрахункові дані

Для визначення впливу переднього кута інструмента на характер стружкоутворення, зокрема на залежність між кутами ϕ і ω , необхідно знати значення усадки стружки та дійсного переднього кута різального клину. А в разі різання інструментом з великим від'ємним переднім кутом слід враховувати можливе зменшення усадки стружки зі збільшенням від'ємного значення γ , незважаючи на зменшення кута ϕ умовної площини зсуву. У даному випадку (табл. 2) під час різання інструментом з переднім кутом до $\lambda = -30^\circ$ усадка K_L збільшується, а потім зменшується до $K_L = 1,0$, тобто товщина стружки стає рівною товщині зрізаного шару при $\gamma = -60^\circ$.

Для визначення переднього кута $\gamma_{\bar{A}}$ достатньо знати значення кута ϕ умовної площини зсуву та усадки стружки K_L . Кут ϕ при цьому розраховується за формулою [9]:

$$\phi = \frac{1}{2} \left[\arcsin \left(\frac{R_z}{\sqrt{R_z^2 + R_y^2}} \right) - \arccos \left(\frac{2\tau_F \cdot a \cdot b + R_y}{\sqrt{R_z^2 + R_y^2}} \right) \right], \quad (5)$$

де τ_F – напруження в умовній площині зсуву, прийняте рівним дійсному значенню межі міцності оброблюваного металу; a , b – відповідно товщина і ширина зрізаного шару, або по мікросліфу кореня стружки.

Рішення (6) дозволяє визначити кут $\gamma_{\bar{A}}$:

$$\sin \gamma_{\bar{A}} = \frac{-K_L \cdot \operatorname{tg}^2 \phi \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \phi - K_L^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \phi + 1}}{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}. \quad (6)$$

З викладеного в даній роботі можна зробити **висновок**, що процес стружкоутворення під час різання металів інструментами з великими від'ємними передніми кутами залишається вивченим недостатньо повно. Важливим є розкриття закономірності переходу усадки стружки від збільшення її значення до зменшення зі збільшенням від'ємних значень переднього кута інструмента.

Список використаної літератури:

1. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов / В.Ф. Бобров. – М. : Машгиз, 1962. – 149 с.
2. Божуков В.Б. Торцовые фрезы с композитом, выпускаемые заводом «Фрезер» / В.Б. Божуков // Станки и инструмент. – 1985. – № 3. – С. 14–15.
3. Бойм Н.Г. Применение лезвийного инструмента из СТМ и минералокерамики в станкостроении / Н.Г. Бойм, И.Н. Соколов // Станки и инструмент. – 1984. – № 7. – С. 14–16.
4. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Н.Н. Зорев. – М. : Машгиз, 1956. – 367 с.
5. Карюк Г.Г. Гексанит-Р и гексанит-А – новые инструментальные материалы / Г.Г. Карюк, А.В. Бочко, В.П. Барaban // Станки и инструмент. – 1977 – № 2. – С. 6–8.

6. *Лецинер Я.А.* Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов / *Я.А. Лецинер, Р.М. Свирицкий, В.В. Ильин.* – К. : Техніка, 1981. – 120 с.
7. *Родин П.Р.* Основы формообразования поверхностей резанием / *П.Р. Родин.* – К. : Вища школа, 1977. – 192 с.
8. *Розенберг А.М.* Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / *А.М. Розенберг, О.А. Розенберг.* – К. : Наук. думка, 1990. – 320 с.
9. *Виговський Г.М.* Безвершинне косокутне фрезерування. Знос та стійкість / *Г.М. Виговський, О.А. Громовий, П.П. Мельничук* // Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. – 1999. – № 4. С. 94–98.
10. *Komanduri R.* Some aspects of Machining with Negative rear tools simulating grinding / *R.Komanduri* // *Int. Mach.Tool.Des.Res.* – 1971. – V. 11. – P. 233–241.
11. *Kita Y.* The mechanism of metal removal by abrasive tool / *Kita Y., Jdo M. and Hata S.* // *Wear.* – 1978. – V. 47. – P. 185–193.
12. *Kita Y.* The influence of the cutting speed on the mechanism of metal removal by abrasive tool / *Kita Y., Ydo M., Tuji Y.* // *Wear.* – 1981. – V. 71. – P. 55–69.
13. *Розенберг А.М.* Элементы теории процесса резания металлов / *А.М. Розенберг, А.Н. Еремин.* – М. : Машгиз, 1956. – 360 с.
14. *Виноградов А.А.* Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами / *А.А. Виноградов.* – К. : Наук. Думка, 1985. – 263 с.
15. *Kita Y.* A study of metal flow ahead of tool face with large negative rear angle / *Y.Kita, M.Ydo, N. Kawasaki* // *Trans. ASME.* – 1982. – V. 104. – P. 318–325.
16. *Полетика М.Ф.* Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / *М.Ф. Полетика.* – М. : Машиностроение, 1969. – 152 с.
17. *Lee E.H.* The theory of plasticity applied to problem of machining / *Lee E.H., Shapper B.W.* // *Trans. ASME. J Appl. Mech.* – 1951. – V. 18. – P. 405–413.
18. *Виноградов А.А.* Расчет усадки стружки на основании составляющих R_z и R_y силы стружкообразования при резании металлов / *А.А. Виноградов* // *Сверхтвердые материалы.* – 1987. – № 4. – С. 48–54.

ВИНОГРАДОВ Олександр Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри металорізальних верстатів та систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка важкооброблюваних матеріалів;
- надтверді матеріали.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – проректор з науково-педагогічної роботи, кандидат технічних наук, професор кафедри технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – декан факультету інженерної механіки, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2014