

Алтухов В. М., Руднєв Є. С.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ**

*У статті розглянуто особливості оброблюваності жароміцних нікелевих сплавів та зносостійкість різального інструменту. Дослідження проводилися в умовах точіння (безперервне різання). Проведено аналіз аналітичних залежностей, які апроксимують експериментально отримані дані при механічній обробці сталей та сплавів, у тому числі важкооброблюваних. Відповідно до загальноприйнятої класифікації важкооброблюваних матеріалів, жароміцні нікелеві сплави відносяться до V групи. Як представник був обраний жароміцний нікелевий сплав ХН67МВТЮ. Обробка проводилася різцями з твердосплавними пластинками марок ВК6М, ВК6. Заплановані та проведені експериментальні дослідження щодо зміни шляху різання залежно від характеристик різання: швидкості різання, подачі, глибини різання. Оскільки при різанні є розсіювання фізико-механічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, інші нестационарні елементи процесу зносу інструменту, на кожній дослідній точці, що визначається величинами швидкості різання, подачі на оборот, глибини різання, експеримент проводився три рази. Обробка результатів стійких досліджень здійснювалася в координатах, відповідно, швидкість різання, подача на оборот, глибина різання – пройдений інструментом шлях. Побудовано графіки, що показали вид кривої залежності шляху різання від швидкості різання, подачі, глибини різання. Проводилося вивчення виду зношування на задній і передній поверхнях різального інструменту при точенні сплаву ХН67МВТЮ різцями з твердого сплаву ВК6М при зміні швидкості різання, при цьому величини подачі на оборот і глибини різання мали постійне значення. Встановлено, як змінюється вид зношування інструмента при зміні швидкості різання. Отримані результати дозволять ефективніше проводити процес механічної обробки жароміцних нікелевих сплавів.*

**Ключові слова:** швидкість різання, подача, глибина різання, механічна обробка, матеріал, інструмент.

**Актуальність дослідження.** Для жароміцних нікелевих сплавів суттєвою проблемою токарної обробки є висока інтенсивність зносу інструментального матеріалу. Багато наукових робіт присвячено вивченню процесу механічної обробки, але складність процесу зносу ріжучого інструменту і наявність ймовірнісних чинників призводить до того, що дослідники дають загальні рекомендації і обмежуються констатацією результатів досліджень [1]. Зазвичай у публікаціях здійснюється підбір для конкретного оброблюваного матеріалу режимів різання, матеріалу і геометричних параметрів інструменту. Підвищення ефективності процесу різання при обробці жароміцних нікелевих сплавів є важливою задачею машинобудування.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що оброблюваність жароміцних нікелевих сплавів низька [2]. Результати аналізу технічної літератури і нормативно-довідкових джерел свідчать про те, що на процес різання впливає значна кількість чинників. Жароміцні нікелеві сплави знаходять використання там, де потрібна висока міцність при температурах до 1100 °С. Дослідження залежності стійкості інструменту від режимів різання, характерних для жароміцного нікелевого сплаву ХН67МВТЮ, з метою визначення оптимальних умов обробки, є досить корисним. Тому дослідження в цій області є важливими як з наукової, так і з практичної точки зору.

**Постановка проблеми.** Продуктивність автоматизованих ліній залежить від режимів різання і стійкості ріжучого інструменту. Відомо, що більшість чинників, що впливають на інтенсивність зносу інструменту є функцією режимів різання. Поломки інструментів знижують коефіцієнт використання обладнання.

**Теоретичний аналіз дослідження.** Результати раніше виконаних досліджень дозволяють вважати, що причини низької оброблюваності всіх корозійностійких і жароміцних матеріалів мають в основному загальну фізичну природу. Вивчення механізму зносу твердосплавного інструменту при механічній обробці сплаву ХН67МВТЮ дозволить глибше зрозуміти сутність процесів в зоні різання.

**Мета статті.** Проведення аналізу закономірності зміни стійкості ріжучого інструменту від режимів різання для жароміцного нікелевого сплаву ХН67МВТЮ. Оптимізація режимів різання, підвищення довговічності і надійності інструменту. Кількісна оцінка режимів різання, стійкості інструменту при обробці різанням сплаву ХН67МВТЮ за використовуваних значень величин подачі, глибини різання.

**Задачі дослідження.** Теоретичні і експериментальні дослідження зношування тведого сплаву ВК6М при обробці сплаву ХН67МВТЮ. Проаналізувати чинники, які впливають на оптимізацію процесу різання. Визначити механізм зносу твердосплавного інструменту при механічній обробці сплаву ХН67МВТЮ.

**Викладення основного матеріалу дослідження.**

У основі оброблюваності різанням у класифікації сталей і сплавів покладений хімічний склад матеріалів. По запропонованій класифікації сталі і сплави розділені на вісім груп, в кожній з яких об'єднані сталі і сплави приблизно однакового хімічного складу, з однаковими механічними властивостями і близькою оброблюваністю різанням. Для кожної групи приведені [3] коефіцієнти за швидкістю різання і зразкові швидкості різання. Слід зазначити, що запропоновані [3] коефіцієнти носять наближений характер і при обробці заданих сталей або сплавів можуть бути досить великі погрішності при визначенні оптимальних режимів різання. При розробці

нових марок важкооброблюваних сталей і сплавів можна відносити їх по хімічному складу до відповідної групи в класифікації і, не проводячи трудомістких експериментальних досліджень, приймати геометричні параметри інструменту і зразкові режими різання.

До групи V відносяться жароміцні деформовані сплави на нікелевій та залізонікелевій основах, леговані великою кількістю хрому (10-20 %) та дещо меншою кількістю титану, алюмінію, вольфраму, молібдену, кобальту та інших елементів. Вони застосовуються для виготовлення деталей машин, що працюють при великих навантаженнях і високих температурах - від 750 до 950 °C (вузлів моторів, дисків, робочих та направляючих лопаток та інших деталей газових турбін). Оброблюваність різанням сплавів групи V в 6-12 разів нижче за оброблюваність сталі 45.

Вітчизняними і зарубіжними авторами було запропоновано велике число аналітичних залежностей, що апроксимують експериментально отримані дані при механічній обробці сталей і сплавів [4, 5].

До них відносяться наступні:

$$T = C_v / V^m \quad (\text{Тейлор, 1905 р.}) \quad (1)$$

$$T = C_v / \ell^{bv} \quad (\text{Сафонов, 1933 р.}) \quad (2)$$

$$T = C_v / (V^m + C_v / T_{np}) \quad (\text{Темчін, 1957 р.}) \quad (3)$$

$$T = a_0 + a_1 \cos y + a_2 \cos 2y + \dots + a_n \cos ny + b_1 \sin y + b_2 \sin 2y + \dots + b_n \sin ny,$$

де  $y = [2 \cdot \pi \cdot (V - V_0)] / (V_n - V_0)$ ;

$$V_0 \leq V \leq V_n \quad (\text{Грановський, 1963 р.}) \quad (4)$$

$$T = 100 \cdot \ell^{a \cdot \sqrt{1 - b \cdot (\ln V - \ln V_{100})}}, \quad (\text{Коняшов и Ксюніна, 1964 р.}) \quad (5)$$

$$T = \frac{C_v - a \cdot V + b \cdot V^2}{V}, \quad (\text{Метчісен, 1965 р.}) \quad (6)$$

Усі приведені формули є експериментальними. Вони точно описують залежність лише в межах певних умов різання, прийнятих при експерименті, і не базуються на фізичних уявленнях про механізм зносу інструменту і його залежності від режимів різання.

Використовувані в даний час довідкові дані для швидкості різання, подачі, глибини різання, взяті з різних джерел для ідентичних умов різання, сильно відрізняються один від одного і не дозволяють обґрунтовано призначати характеристики різання.

Потрібно зазначити, що наведені вище формули неможливо використовувати без проведення значних досліджень по встановленню констант і показників ступеня для конкретних умов обробки.

Різних залежностей по визначенню стійкості ріжучого інструменту значно більше, тут наведено їх мала частина. Звідси видно, що криві стійкості ріжучого інструменту розрізняються по виду.

При обробці заготовок з жароміцних сталей виникають сили різання в 1,2-1,5 рази більші, а при обробці деталей з жароміцних сплавів, що деформуються – в 2 рази більші, ніж при обробці заготовок з сталі 45. При обробці заготовок з високоміцних сталей виникають сили різання, в 2-3 рази більші, ніж при обробці заготовок з сталі 45. Великі сили різання, що виникають при обробці заготовок з важкооброблюваних сталей і сплавів, обумовлюють виділення більшої кількості теплоти в срізаємому шарі металу.

Вибір оптимальних характеристик різання зазвичай виробляють на основі узагальнених емпіричних залежностей. В даний час відсутні досить прості залежності, що зв'язують один з основних вихідних параметрів процесу різання - стійкість інструменту з первинними параметрами, в першу чергу, зі швидкістю різання, подачею, глибиною різання. Це пов'язано, з одного боку, з тим, що кожна функція  $T = f_1(V)$ ,  $T = f_2(S)$ ,  $T = f_3(t)$  характеризується, при зміні аргументу в досить широкому діапазоні, яскраво вираженою немонотонністю. З іншого боку, вплив кожного з параметрів режиму різання на стійкість проявляється взаємопов'язано, тобто, вплив одного елемента залежить від впливу двох інших.

При різанні важкооброблюваних матеріалів функція  $T = f(V)$  має немонотонний характер, в загальному випадку, з декількома максимумами і мінімумами. Тому, для з'ясування реальних залежностей між параметрами режиму обробки і стійкістю інструмента, а також з метою визначення фізично оптимальних значень цих параметрів для кожного конкретного випадку обробки, проводяться дослідження експериментальними методами.

Значна частина експериментальних методів оптимізації режимів механічної обробки засновані на дослідженні емпіричних залежностей, для отримання яких проводяться тривалі і матеріаломісткі експерименти випробування.

Традиційний метод полягає в доведенні ріжучої кромки до катастрофічного зносу і багаторазовому повторенні експерименту на незношених різцях для нових швидкостей різання з заданим інтервалом. Потім проводиться обробка результатів в координатах: швидкість різання - стійкість інструменту.

Однак, методи оптимізації характеристик різання, в основі яких лежить математичне планування експерименту, мають, крім загальних переваг, і ряд недоліків, наприклад, обмеженням вибору критеріїв оптимізації. Це пояснюється тим, що в їх основі лежить аналіз стійкостних залежностей, отриманих в результаті випробувань, проведених одним з викладених вище способів, які фактично дають тільки кінцеві результати взаємодії ріжучого клина інструменту з оброблюваним матеріалом, не відображаючи фізичної суті цієї взаємодії. Крім того, результати стійкості випробувань значною мірою залежать від випадкових похибок, наприклад, значний вплив надає розкид фізико-механічних властивостей матеріалу заготівлі та матеріалу ріжучого інструменту [6].

В даний час багато деталей, до яких пред'являють підвищені вимоги до жаростійкості, виготовляються зі сплаву ХН67МВТЮ, що має підвищені в'язкопластичні властивості. Механічна обробка даних деталей викликає ряд труднощів при призначенні технологічних режимів обробки та підбору геометрії різальної частини інструменту.

Процес обробки матеріалів даного класу супроводжується: підвищеною температурою в зоні різання, великим тертям по контактних поверхнях, що призводить до погіршення оброблюваності та зношування інструменту; підвищеною стираючою здатністю жароміцних матеріалів, що викликає необхідність застосовувати інструментальні матеріали, що мають поряд з великою міцністю високу зносостійкість.

Однієї з причин швидкого зношування і викришування інструменту з твердого сплаву при різанні заготовок з жароміцних сплавів, що деформуються, є налипання часток матеріалу заготівки на ріжучі леза інструменту при виході його з металу. При подальшому урізуванні прилиплі частки зриваються з лез разом з частками твердого сплаву.

Наведемо хімічний склад жароміцного нікелевого сплаву ХН67МВТЮ.

Вміст вуглецю С: 0,08 %. Вміст кремнію Si: 0,6 %. Вміст марганцю Mn: 0,5 %. Вміст хрому Cr: 19 %. Вміст нікелю Ni: основний. Вміст титану Ti: 2,5 %. Вміст алюмінію Al: 1,3 %. Вміст заліза Fe: 2 %. Вміст сірки S: 0,01 %. Вміст фосфору P: 0,01 %. Вміст молібдену Mo: 4,5 %. Вміст вольфраму W: 4,5 %.

Фізико-механічні властивості сплаву ХН67МВТЮ.

Межа міцності,  $\sigma_b = 1150-1250$  МПа. Твердість HB 280...295.

Експериментальні дослідження за визначенням залежності стійкості ріжучого інструменту від режимів різання при обробці сплаву ХН67МВТЮ проводилися в лабораторних і виробничих умовах на універсальних токарно-гвинторізних верстатах моделей 1К62, 16К20 за поздовжньою схемою обробки.

Для проведення експериментальних досліджень при точінні (безперервне різання) використовувалися заготівки довжиною 300-400 мм і діаметром 90-140 мм. Експеримент припиняли після досягнення діаметру заготівки, рівного 35 мм.

При точінні використовувався різець токарний збірний прохідний з механічним кріпленням квадратних твердосплавних пластин. Різець 92.2102-0051. Такий різець є універсальним, їм можна виробляти обточування, торцеве точіння і зняття фасок.

Ріжучі пластинки – по ТУ 48-19-63-73. Пластинки чотиригранні. Їх параметри: товщина – 4,76 мм; діаметр вписаного кола – 12,7 мм; радіус вершини  $r_b = 0,4$  мм; передній кут  $\gamma = 0^\circ$ ; задній кут  $\alpha = 11^\circ$ ; головний кут в плані  $\phi = 45^\circ$ ; допоміжний кут в плані  $\phi_1 = 45^\circ$ . Матеріал пластинок: твердий сплав марок ВК6, ВК6М.

З технологічних середовищ, вживаних у виробництві, головними є мастильно-охолоджуючі рідини [7].

В якості мастильно-охолоджуючої рідини на операціях точіння використовувався 5 % стандартний розчин МХО-64А. Витрата його на операції точіння складала 6 л/хв.

За критерій затуплення різців при стійкостних випробуваннях в умовах точіння приймалася ширина зношеної контактної площадки по задній поверхні різця. Прийняли її рівною 0,5 мм.

Обробка результатів стійкостних дослідів при проведенні досліджень здійснювалася в координатах швидкість різання – пройдений інструментом шлях.

У зв'язку з наявністю розсіяння фізико-механічних властивостей оброблюваного і інструментального матеріалів і інших нестационарних елементів процесу зносу ріжучого інструменту, на кожній дослідній точці, визначуваній величинами: швидкості різання  $V$ , подачі на зворот  $S_o$ , глибини різання  $t$ , експеримент проводився три рази.

З врахуванням рекомендацій [8], число дослідних точок при варіюванні швидкості різання  $V$ , подачі на оборот  $S_o$ , глибини різання  $t$  при роботі твердосплавним ріжучим інструментом було рівним 7...8.

Підготовка експериментів при точінні починається з визначення діапазону варіювання технологічних параметрів: швидкості різання  $V$ , подачі на оборот  $S_o$ , глибини різання  $t$ .

Для нових конструкційних матеріалів його призначенню передують визначення орієнтовних початкових значень  $V_n$ ,  $S_n$ ,  $t_n$ .

Цю задачу вирішуємо шляхом підбору в одній з груп по класифікації важкооброблюваних матеріалів [3] аналога, близького по хімічному складу і фізико-механічним властивостям до досліджуваного матеріалу, рекомендації по режимах обробки якого беруться за початкові. Аналогічним чином проводиться визначення  $V_n$ ,  $S_n$ ,  $t_n$  для нових інструментальних матеріалів.

Після визначення  $V_n$ ,  $S_n$ ,  $t_n$  призначалися границі діапазону варіювання  $V$ : верхня границя –  $V_{max} = (1,5-1,8) \cdot V_n$ , нижня границя –  $V_{min} = (0,3-0,5) \cdot V_n$ .

Діапазон варіювання  $S_o$  при точінні призначався, виходячи з вимог до якості обробленої поверхні і рівний 0,05-0,43 мм/об.

Діапазон варіювання  $t$  при точінні призначався рівним 0,25-5 мм.

Величина зносу інструменту визначалася: у лабораторних умовах – за допомогою мікроскопа УИМ-21, у виробничих умовах – за допомогою лупи Брінеля.

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням залежності шляху різання  $l_{cp}$  від швидкості різання  $V$  при обробці жароміцного сплаву на нікелевій основі ХН67МВТЮ. Подача на оборот  $S_o$  і глибина різання  $t$  приймалися постійними.

Величини шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М, залежно від швидкості різання ( $S_o = 0,11$  мм/об,  $t = 0,5$  мм), наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Величини шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ інструментом з твердого сплаву марки ВК6М ( $S_o = 0,11$  мм/об,  $t = 0,5$  мм)

№ точки	$V, \text{ м/с}$	$l, \text{ м}$			$l_{cp}, \text{ м}$
		1 замір	2 замір	3 замір	
1	0,2	720	924	876	840
2	0,3	1188	1242	1350	1260
3	0,36	1339,2	1382,4	1231,2	1317,6
4	0,5	930	1200	1290	1140
5	0,6	1152	900	828	961,2
6	0,8	768	720	528	672
7	1	480	330	360	390
8	1,16	243,6	208,8	174	208,8

Залежність шляху різання  $l_{cp}$  від швидкості різання сплаву ХН67МВТЮ ( $S_o = 0,11$  мм/об,  $t = 0,5$  мм) ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М наведена на рис. 1.

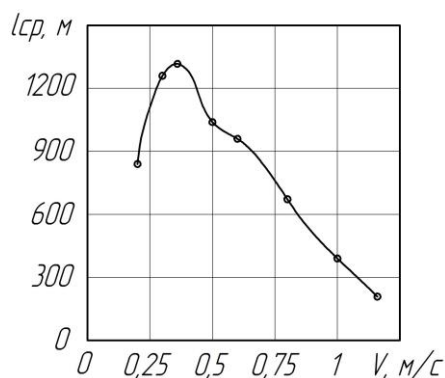


Рисунок 1 – Зміна шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М ( $S_o = 0,11$  мм/об,  $t = 0,5$  мм)

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням шляху різання  $l_{cp}$  від подачі на оборот  $S_o$ . Швидкість різання  $V$  і глибина різання  $t$  приймалися постійними.

Величини шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6, залежно від подачі на оборот  $S_o$  ( $V = 0,35$  м/с,  $t = 0,5$  мм), представлені в табл. 2.

На рис. 2 наведена залежність шляху різання  $l_{cp}$  від подачі на оборот  $S_o$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ( $V = 0,35$  м/с,  $t = 0,5$  мм), ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6.

Таблиця 2 – Величини шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6 ( $V = 0,35$  м/с,  $t = 0,5$  мм)

№ точки	$S_o, \text{ мм/об}$	$l, \text{ м}$			$l_{cp}, \text{ м}$
		1 замір	2 замір	3 замір	
1	0,07	1020,6	945	735	900,9
2	0,11	974,4	1050	764,4	930,3
3	0,17	1155	39,3	45,7	980,7
4	0,24	915,6	720,3	989,1	875,7
5	0,28	674,1	525	735	644,7
6	0,34	420	359,1	510,3	430,5
7	0,43	12,9	210	239,4	239,4

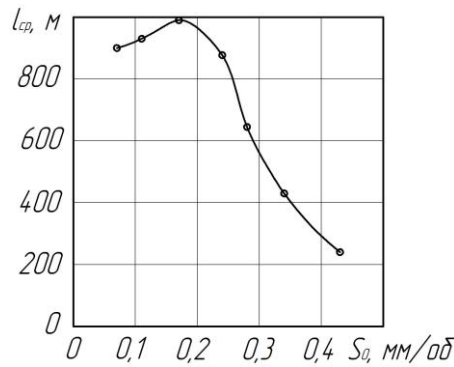


Рисунок 2 – Зміна шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6 ( $V = 0,35$  м/с,  $t = 0,5$  мм)

Аналізуючи залежності стійкості інструменту від подачі на оборот  $S_o$ , можна відзначити, що вигляд цієї залежності, для різних матеріалів, може мати певну схожість.

Були проведені експериментальні дослідження за визначенням впливу глибини різання на інтенсивність зношування ріжучого інструменту.

Залежності шляху різання  $l_{cp}$  від глибини різання  $t$  визначалися для сплаву ХН67МВТЮ. Швидкість різання  $V$  і подача на оборот  $S_o$  приймалися постійними. Величини стійкості ріжучого інструменту  $l_{cp}$ , при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М, залежно від глибини різання  $t$  ( $V = 0,4$  м/с,  $S_o = 0,11$  мм/об), представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Величини шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М ( $V = 0,4$  м/с,  $S_o = 0,11$  мм/об)

№ точки	$t$ , мм	$l$ , м			$l_{cp}$ , м
		1 замір	2 замір	3 замір	
1	0,25	1320	1584	1128	1344
2	0,5	840	984	1056	960
3	0,75	576	624	816	672
4	1	480	600	456	511,2
5	1,5	312	384	432	376,8
6	2	288	240	336	288
7	2,5	240	216	288	247,2
8	3	216	240	216	223,2

На рис. 3 наведена залежність шляху різання  $l_{cp}$  від глибини різання  $t$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ( $V = 0,4$  м/с,  $S_o = 0,11$  мм/об) ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М.

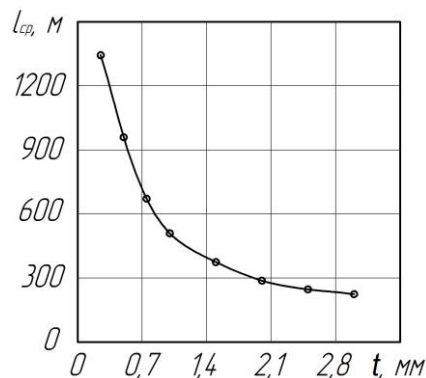


Рисунок 3 – Зміна шляху різання  $l_{cp}$  при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву марки ВК6М ( $V = 0,4$  м/с,  $S_o = 0,11$  мм/об)

Можна зробити висновок про те, що крива, що відображає залежність шляху різання  $l_{cp}$  від глибини різання  $t$  має бути увігнутий характер.

Зі зростанням глибини різання шлях різання  $l_{cp}$  зменшується.

В ході експериментальних досліджень при точінні сплаву ХН67МВТЮ різцями з твердого сплаву ВК6М, проводилося вивчення вигляду зносу на задній і передній поверхнях ріжучого інструменту. На усіх режимах різання подача  $S_p = 0,11$  мм/об, глибина різання  $t = 0,5$  мм. Зношені пластинки були сфотографовані на плівку на мікроскопі МБС-9, оснащеному мікрофотонасадком МФН-12 при збільшенні 28 крат.

На рис. 4 показаний вигляд зносу ріжучого інструменту при точінні сплаву ХН67МВТЮ різцями з твердого сплаву ВК6М при швидкості різання  $V = 1,1$  м/с. Видно, що ріжуча кромка на вершині і уздовж головного ріжучого леза, де сходила стружка, рівна.



Рисунок 4 – Вигляд зносу ріжучого інструменту при точінні сплаву ХН67МВТЮ інструментом з твердого сплаву ВК6М при швидкості різання  $V = 1,1$  м/с

При усіх швидкостях різання на передніх поверхнях пластинок лунки зносу заліплені оброблюваним матеріалом. Наявність виризов є переважаючою при малих швидкостях різання, але є присутнім і на високих швидкостях. На швидкостях різання до 0,9 м/с спостерігається наявність наросту на ділянках, що примикають до вершини пластинки. На швидкостях різання до 0,6 м/с різальна кромка на робочій ділянці має рваний вигляд, а майданчики зносу задніх поверхонь мають глибокі канавки і лунки, що свідчать про відриви разом з наростом великих шматків матеріалу різальної пластинки. При точінні на швидкостях понад 0,9 м/с – добре помітний абразивний вид зносу задніх поверхонь інструменту, нарост практично відсутній. Шорсткість майданчика зносу задньої поверхні – рівномірна.

#### Висновки.

1. На підставі огляду літературних джерел показано, що невиясненими залишаються закономірності, характерні для різних марок сплавів, що не дозволяє ефективно використовувати теоретичні знання процесу різання.
2. Встановлені закономірності зміни між шляху різання і режимами різання в умовах обробки жароміцного нікелевого сплаву ХН67МВТЮ. Це дозволить ефективніше проводити процес механічної обробки.
3. Досліджено вигляд зносу ріжучого інструменту при точінні сплаву ХН67МВТЮ ріжучим інструментом з твердого сплаву ВК6М.

#### Література

1. Stupnytskyy V. Investigation of the influence of machining factors on the workpiece deformation mode in the chip-forming zone by the finite element method / Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. Vol. 2, No. 2, 2016. P. 61-70.
2. Лепилин В. И. Режимы резания авиационных материалов при точении. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2000. 128 с.
3. Гуревич Я. Л., Горохов М. В., Захаров В. И. и др. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1986. 241 с.
4. Алтухов В. М., Боровік П. В. Підвищення ефективності стойкостних ресурсів ріжучих інструментів / Сучасні технології промислового комплексу – 2020: матеріали VI-ої Міжнародної науково-практичної конференції 8-12 вересня 2020 р. Херсон: Херсонський національний технічний університет, 2020. С. 61-63.
5. Анцев А. В. Прогнозирование периода стойкости режущего инструмента на основе полиномиальной стойкостной зависимости / Инновации в машиностроении: сборник трудов VIII научно-практической конференции. Под ред. Х. М. Рахмянова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. С. 42-48.
6. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
7. Коломиец В.В. Применение высокоэффективных смазочных материалов при резании. – Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Вип. 3 (8), 2015. С. 166-170.
8. Методики экспериментальных исследований по определению исходных данных для разработки общемашиностроительных нормативов режимов резания по основным видам обработки / Под ред. Грановского Г. И. М.: НИИмаш, 1982. 159 с.

## References

1. Stupnytsky V. Investigation of the influence of machining factors on the workpiece deformation mode in the chip-forming zone by the finite element method / Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. Vol. 2, No. 2, 2016. P. 61-70.
2. Lepilin V. I. Rezhimy rezaniya aviatsionnykh materialov pri tochenii. Samara: Samarskiy gosudarstvennyy aerokosmicheskiy universitet. 2000. 128 s.
3. Gurevich Ya. L., Gorokhov M. V., Zakharov V.I. i dr. Rezhimy rezaniya trudnoobrabatyvayemykh materialov. M.: Mashinostroyeniye. 1986. 241 s.
4. Altukhov V. M., Borovik P. V. Pidvyshchennia efektyvnosti stoikostnykh resursiv rizhuchykh instrumentiv / Suchasni tekhnolohii promyslovoho kompleksu – 2020: materialy VI-oi Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii 8-12 veresnia 2020 r. Kherson: Khersonskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet, 2020. S. 61-63.
5. Antsev A. V. Prognozirovaniye perioda stoykosti rezhushchego instrumenta na osnove polinomialnoy stoykostnoy zavisimosti / Innovatsii v mashinostroyenii: sbornik trudov VIII nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pod red. Kh. M. Rakhimyanova. Novosibirsk: Izd-vo NGTU. 2017. S. 42-48.
6. Palyvoda Yu. Ye. Instrumentalni materialy, rezhymy rizannia, tekhnichne normuvannia mekhanichnoi obrobky: navchalno-metodychnyi posibnyk / Palyvoda Yu. Ye., Diachun A. Ye., Leshchuk R. Ya. Ternopil: Ternopilskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet imeni Ivana Puliuia, 2019. 240 s.
7. Kolomiyyets V.V. Primeneniye vysokoeffektivnykh smazochnykh materialov pri rezanii. – Informatsiyni tekhnologii v osviti. nauki ta virobnitstvi. Vip. 3 (8). 2015. C. 166-170.
8. Metodiki eksperimentalnykh issledovaniy po opredeleniyu iskhodnykh dannykh dlya razrabotki obshchemashinostroitelnykh normativov rezhimov rezaniya po osnovnym vidam obrabotki / Pod red. Granovskogo G. I. M.: NIImash. 1982. 159 s.

*The article discusses the features of the machinability of heat-resistant nickel alloys and the wear resistance of the cutting tool. The research was carried out under conditions of turning (continuous cutting). The analysis of analytical dependences, which approximate the experimentally obtained data during the machining of steels and alloys, including those difficult to machine, has been carried out. According to the generally accepted classification of difficult-to-machine materials, heat-resistant nickel alloys belong to group V. The high-temperature nickel alloy KhN67MVTYu was chosen as a representative. The processing was carried out with cutters with non-sharpened carbide inserts of the VK6M, VK6 grades. Experimental studies have been planned and carried out to change the cutting path depending on the cutting characteristics: cutting speed, feed, cutting depth. Since during cutting there is a scattering of the physical and mechanical properties of the processed and tool materials, other non-stationary elements of the tool wear process, at each research point determined by the values of the cutting speed, feed per revolution, cutting depth, the experiment was carried out three times. The processing of the results of resistance studies was carried out in the coordinates, respectively, cutting speed, feed per revolution, cutting depth - the path traveled by the tool. Graphs were built that showed the form of the curve of the dependence of the cutting path on the cutting speed, feed, cutting depth. A study of the type of wear on the rear and front surfaces of the cutting tool was carried out when turning the KhN67MVTYu alloy with cutters from the VK6M hard alloy with a change in the cutting speed, while the feed per revolution and the depth of cut were constant. It is established how the type of tool wear changes with changing cutting speed. The results obtained will make it possible to more effectively carry out the process of machining heat-resistant nickel alloys.*

**Key words:** cutting speed, feed, cutting depth, machining, material, tool.

**Алтухов В. М.** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Машинобудування та прикладна механіка Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Руднєв Є. С.** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.