

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ В УМОВАХ НЕПЕРЕРВНОГО ТОЧІННЯ

О. О. Лимар, кандидат фізико-математичних наук
ORCID ID: 0000-0002-0301-7313
Миколаївський національний аграрний університет

Робота присвячена дослідженню факторів, що впливають на стійкісні характеристики ріжучого інструменту в умовах точіння жароміцних корозійностійких сталей. Розглянуто методи підвищення зносостійкості різця зі змінними п'ятигранними пластинами, що не переточуються. Проаналізовано характер зношування змінних багатограних пластин та причини їх руйнування в умовах неперервного точіння зі зносостійкими покриттями.

Ключові слова: ріжучий інструмент, п'ятигранні пластини, змащувально-охолоджуючі рідини, стійкісні характеристики, зносостійкість різця, зносостійкі покриття, важкооброблювані матеріали.

Постановка проблеми. Одним з актуальних питань, що стоять перед металообробною промисловістю, є питання підвищення ефективності різання матеріалів з високими фізико-механічними властивостями, що характеризуються низькою оброблюваністю [1].

Матеріали, що важко обробляються різанням через специфічні фізико-механічні властивості, доцільно класифікувати за такими ознаками: призначенням (високоміцні, надміцні, нержавіючі, магнітні, тугоплавкі та ін.); будовою (мартенситні, аустенітні, металокера-мічні та ін.), основним складовим елементом матеріалу (кобальтові, титанові вольфрамові, нікелеві та ін.). [1-7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення завдання підвищення працездатності і надійності різального інструменту потрібно забезпечити йому високу зносостійкість. Різці при різанні матеріалів втрачають свої різальні властивості й виходять з ладу через передчасне зношування робочих поверхонь. Актуальною проблемою сучасного машинобудування є вибір відповідного способу обробки жароміцних корозійностійких сталей (2X13, 20X13, 30X13 та ін.), які широко застосовуються у виробках сільськогосподарського призначення, хімічної, нафтопереробної, харчової і легкої промисловості, а також у машинобудуванні для виготовлення деталей, що працюють на зношування при температурі до 450-500°C, а саме: пружин, зубчастих коліс, муфт, валів, штоків поршневих компресорів, ріжучого та мірильного інструменту, деталей внутрішнього згоряння газових турбін тощо [8].

Питаннями підвищення зносостійких характеристик різального інструменту займалися такі вчені: Верещака А. С. [1, 2], Куклин Л. Г. [3], Мацевитий В. М. [4], Табаков В. П. [5, 6] та ін. Авторами проведено класифікацію основних методів нанесення зносостійких покриттів на чотири групи, залежно від методів їх утворення, та сформульовано експлуатаційні вимоги до зносостійких покриттів, а саме: зберігати свої властивості до високих температур, не мати дефектів, володіти більшою твердістю ніж інструментальні матеріали, мати високу межу тривалості, високу теплостійкість, володіти низькою схильністю до адгезії.

Таким чином, методи експериментальних досліджень процесу різання металів є важливими не тільки з наукової точки зору, але і з практичної – підвищення ефективності машинобудівного виробництва, а також економічного ефекту застосування.

Через високу міцність, твердість і в'язкість хромисті сталі мають низьку оброблюваність. При використанні швидкорізального інструменту коефіцієнт оброблюваності становить $K_v, б.с = 0,45$, а для твердосплавного інструменту $K_v тв.спл. = 0,7$, тому поліпшення оброблюваності цієї групи сталей і підвищення зносостійких характеристик ріжучого інструменту є актуальним завданням, вирішення якого має забезпечити підвищення як продуктивності, так і якості поверхні деталі, що оброблюється, а отже й ефективність механічної обробки у цілому. Одним із основних шляхів розвитку і вдосконалення механічної обробки точінням можна вважати використання

змащувально-охолоджуючих рідин і застосування змінних багатогранних пластин, що не переточуються, зі зносостійкими покриттями [1-3].

Виклад основного матеріалу. Експериментальні дослідження проводили на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 при обробці хромистої, жароміцної сталі 20Х13 з використанням різців з механічним кріпленням із змінними п'ятигранними пластинами, що непереточуються, з фаскою в широкому діапазоні режимів різання з використанням змащувально-охолоджуючої рідини.

Варто відзначити, сталь, що досліджували в ході експерименту, належить до класу корозійностійких, жароміцних матеріалів. Залежно від вмісту хрому їх структури поділяються на три класи: мартенситні (95Х18, 30х13, 20Х13, 40Х13), мартенсито-феритні

(12х13) і феритні (08Х13, 12х17, 08Х17Т, 08Х18Т1). Ступінь корозійної стійкості сталі залежить від процентного вмісту хрому, що дає можливість в свою чергу поділити на три групи: до першої групи корозійної стійкості належать сталі з вмістом хрому 13%, другої – 17% і третьої – 25-28%. [5 - 9]

Для підвищення оброблюваності хромистих сталей досліджували закономірності різання, характер зношування і стійкість впливу температурних факторів в процесі різання ріжучого інструменту на прикладі змінних багатогранних пластин, що не переточуються, із застосуванням зносостійких покриттів.

Ця сталь має хімічний склад, який представлено в табл. 1, і застосовується в якості жароміцного матеріалу при температурах 450 - 550° С, а в якості жаростійкого – до 790° С. [10-13].

Таблиця 1

Хімічний склад сталі 20Х13, % (ГОСТ 5632-81)

C	Cr	Si	Mn	S	P	T	Cu	Ni
0,16-0,25	12,0-14,00	Не більше						
		0,8	0,8	0,025	0,030	0,2	0,30	0,60

У роботі наведено відомості про результати експериментального дослідження оброблюваності точінням хромистої сталі марки 20Х13, що виконувалося на токарно-гвинторізному верстаті в умовах безперервного точіння.

В ході експерименту використовували різці з механічним кріпленням, оснащені змінними п'ятигранними пластинами, що не переточуються, марок Т5К10, Т40, ВК8 і Р30. Основним критерієм ефективності при порівнянні змінних твердосплавних пластин виступає їх стійкість. Стійкість пластини – здатність матеріалу, з якого вона виготовлена, зберігати свої фізико-механічні властивості протягом певного часу. Період стійкості змінної твердосплавної пластини безпосередньо залежить від марки матеріалу, що оброблюється, а також режимів різання.

Тверді сплави розрізняють за хімічним складом і класифікують їх за вмістом в них металів карбідів: вольфрамові – ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25; титано-вольфрамові – Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В; титано-тантало-вольфрамові – ТТ7К12, ТТ10К86; безвольфрамові ТНМ 20, ТНМ25, ТНМ30 [1-7].

При обробці сталі 20Х13 найкращу стійкість показали різці, оснащені твердосплавними пластинами 10114-110408 ДСТУ 19065-80 з металокерамічних твердих сплавів марок Т5К10, Т40, ВК8, що були прийняті за основу. У табл. 2 відповідно до ДСТУ 3882-74 наведено відсотковий вміст кобальту (Co), карбіду вольфраму (WC) і карбіду титану (TiC), у відсоткових частках, у змінних п'ятигранних пластинах (ЗПП). [8 - 13].

Таблиця 2

Хімічний склад металокерамічних твердих сплавів марок Т5К10, Т40, ВК8

Марка ЗПП	Відсотковий вміст %		
	Кобальт (Co)	Карбід фольфрама (WC)	Карбід титану (TiC)
Т40	12	83	5
ВК8	8	92	
Т5К10	10	85	5

Варто відзначити, що в ході експерименту було використано комплексний підхід до

вивчення проблем зносостійкості ріжучого інструменту в умовах точіння, а саме,

досліджували не тільки вплив температур в зоні різання на стійкість ріжучого інструменту і якість поверхні, що оброблюється, а також вплив зносостійкого покриття на стійкісні характеристики різця в цілому.

Одним з визначальних факторів для підвищення ефективності ріжучого інструменту є метод і технологія нанесення зносостійких покриттів. В якості матеріалу застосовували одношарові покриття нітрид титану TiN , що наносили на тврдосплавні пластини, на установці "Булат 3т" методом конденсації з плазмової фази з іонним бомбардуванням (КІБ).

Тврдосплавні пластини перед нанесенням покриттів піддавали поліруванню алмазною пастою, механічним, а потім ультразвуковим очищенням в суміші ацетату і етилового спирту. Безпосередньо на установці до нанесення покриття здійснювали іонну очистку у вакуумі в тліючому розряді при тиску $P = (2...3) \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст. іонами аргону при напрузі на підкладці 1100 Вт протягом 30 хв. Потім відкачували повітря з камери до тиску $3,99 \cdot 10^{-1}$ Па, не знімаючи з підкладки високої напруги, включали випарник, встановлюючи струм дугового розряду 80А, здійснювали іонне бомбардування (очищення) пластин в безперервному режимі протягом 5 хв, підвищуючи температуру пластин до 650 °С. Далі, не вимикаючи випарник, знімали з підкладки високу напругу до 200 В, підтримували в камері відносний тиск азоту $P_a = 3,99 \cdot 10^{-1}$ Па, збільшували силу струму дугового розряду до $I_d = 120$ А і в безперервному режимі здійснювали синтезування нітридотитанового покриття TiN протягом 20...25 хв. Товщина покриттів перебувала в межах 2...3 мкм, а мікротвердість від 16,5 ... 18,5 ГПа. [10, 13].

У процесі іонного бомбардування покриття поверхні підкладки піддається іонному розпорошенню (травленню), при якому видаляються забруднення, сорбовані гази, плівки, підвищується температура підкладки, кристалічна решітка отримує більшу кількість субмікронедосконалостей і термодинамічно активізується. При подальшому осадженні покриття відбувається добудова кристалічної решітки, мікротріщини і пори заповнюються матеріалом покриття, що сприяє підвищенню адгезійної міцності з'єднання «покриття – основа».

При виборі методу подачі змащувально-охолоджуючої рідини було розглянуто два основні методи, а саме – подача змащувально-охолоджуючої рідини в зону різання і охолодження інструменту методом замкнутого циклу, що полягає в циркуляції змащувально-охолоджуючого технологічного середовища. Надалі, при вивченні проблем використання змащувально-охолоджуючих рідин з усіх досліджуваних способів подачі ЗОР (табл. 3) було прийнято за основу спосіб вільно падаючого струменя, що є найбільш поширеним при використанні на даному токарно-гвинторізному верстаті 16К20 без числового програмного управління (ЧПУ). Даний метод ЗОР призначений для змащення поверхонь тертя, охолодження ріжучого інструменту матеріалу, що оброблюється, своєчасного видалення із зони різання стружки і продуктів зношування інструменту. Особливу увагу при виборі способу подачі ЗОР було приділено екологічності, надійності та економічності системи. [13].

Таблиця 3

Способи подачі ЗОР

Вільно падаючим струменем (поливом)
Під тиском через соплові насадки (напірним струменем)
У розпиленому стані (у вигляді струменя повітряно-рідинної суміші)
Через канали в інструменті з виходом в зону різання під тиском
Через канали в інструменті без виходу в зону різання (під тиском)
Контактне змочування
Періодична подача ЗОР на інструмент перед обробкою різанням (в розпиленому стані, зануренням, нанесенням пензликом або тампоном, з маслянки і ін.).
Замкнутий цикл циркуляції ЗОТС

Експлуатаційна надійність і довговічність токарного різця визначається температурою різання. В ході дослідження законів процесу зношування леза ріжучого інструменту береться до уваги як середня температура на його площадках контакту, так і значення температур в кожній точці кромки п'ятигранної пластини, Отже

доцільно проводити дослідження законів розподілу температур на передній поверхні кромки ріжучого інструменту залежно від його параметрів. Джерело тепла на передній поверхні кромки інструменту представлене плоско-прямокутним і рівним площі контакту леза з

передньою поверхнею і з однаковою щільністю розподілу теплового потоку. [12-15].

Провівши теоретичні дослідження, а також виходячи з розглянутих характеристик, можемо зробити узагальнений висновок про те, що запропонований метод дозволяє досягти рівномірного відведення тепла від ріжучої частини різця за рахунок постійної подачі змащувально-охолоджуючої рідини в зону різання, а саме – в зону безпосереднього контакту двох поверхонь.

Точіння проводили у широкому діапазоні режимів різання: $V = 110-360$ м / хв, при подачах $S_r = 0,08; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3$ мм/об. і глибині різання $t = 0,5-3$ мм без охолодження із застосуванням змащувально-охолоджуючої рідини. Дослідження зношування виконували в

початковому і основному періоді роботи. За критерій затуплення різців було прийнято максимальну лінійну величину зношування по головній задній поверхні $h_3 = 1,0$ мм. Товщина покриття становила близько 5 мкм, твердість $H_{100} = 20000 \cdot 24000$ МПа.

Провівши ряд досліджень залежності зношування змінної п'ятигранної пластини з використанням фаски 1x450 від швидкості різання в діапазоні режимів різання (табл. 4) без використання змащувально-охолоджуючої рідини, отримали результати, зведені в графіку (рис. 1), що дало можливість вибору оптимальних режимів різання, а саме швидкості різання V , що має найбільший вплив на зношування ріжучого інструменту при безперервному точінні корозійностійкої, жароміцної сталі 20X13.

Таблиця 4

Зведені данні режимів різання сталі 20X13 різцем зі змінною п'ятигранною платиною T40 з фаскою 1x45 без змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР)

Номер графика	Швидкість різання V (м/хв)	Частота обертання n (об/хв)	Подача S_r (мм/об)	Глибина різання t (мм)
1	280	1250	0,11	1
2	230	1000	0,11	1
3	205	630	0,11	1
4	150	500	0,11	1
5	110	400	0,11	1

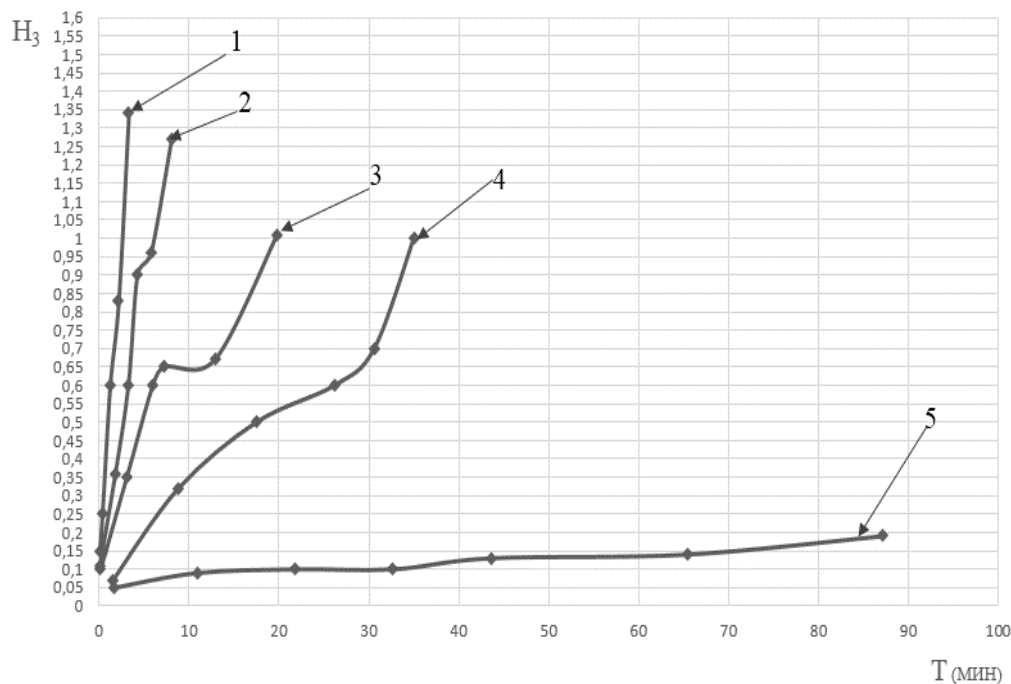


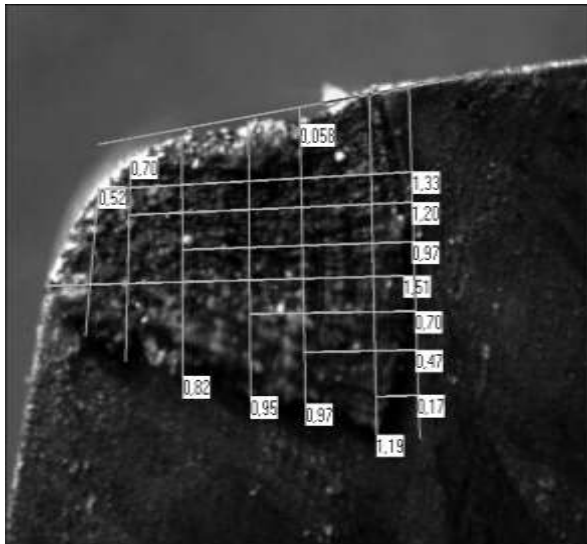
Рис. 1. Графік залежності зносу пластини T40 від швидкості різання

В ході експерименту при обробці сталі 20X13 різцем зі змінною п'ятигранною платиною T40 без зносостійкого покриття і без застосування

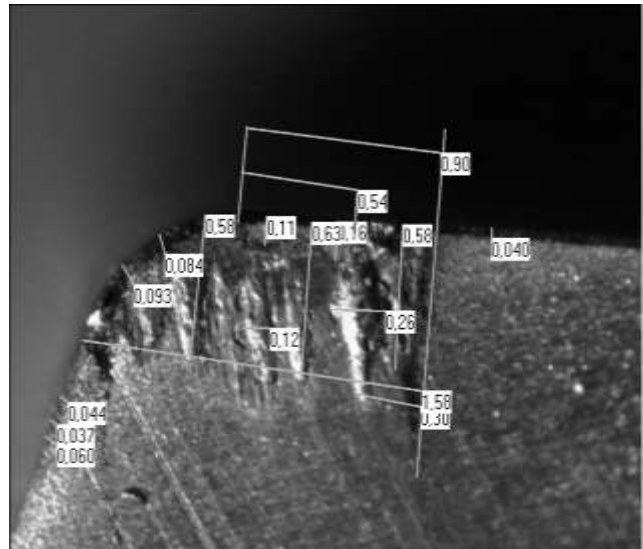
ЗОР при швидкості різання $V = 150$ м/хв, подачі $S_r = 0,11$ мм/об. і глибині різання $t = 1$ мм спостерігалось налипання стружки на передню

поверхню (рис. 2 а), на відміну точіння із застосуванням ЗОР (рис. 2 б). Це пояснюється тим, що в процесі різання сталі, при контакті ріжучої кромки твердосплавної пластини різця і поверхні, що оброблюється, тепло матеріалу, що при цьому виділяється, концентрується в стружці,

що безпосередньо контактує з передньою поверхню ріжучого інструменту, та, в свою чергу, під дією сил різання налипає на передню поверхню ріжучої пластини токарного різця (рис. 2).



а



б

Рис.2. Змінна багатогранна твердосплавна пластини різця Т40 без покриття TiN:
а – налипання стружки без ЗОР.; б – нарости на передній поверхні з використанням ЗОР

Надалі, в ході проведення експерименту при обробці матеріалу п'ятигранної пластини Т5К10, ВК8 і Т40 без покриття (рис. 3) ми можемо спостерігати утворення лунки з подальшим утворенням відколів. Це пояснюється тим, що при швидкісних режимах різання, де $V > 150$ (м/хв), під впливом високих температур спостерігається налипання стружки, яка утворилася в ході обробки поверхні, на передню поверхню ріжучої пластини, в подальшому відбувається її зрив з частинками ріжучого інструменту. Лункоутво-

рення, частковий зрив або сколювання ріжучої кромки призводить до погіршення якості поверхні, що оброблюється, що в свою чергу призводить до погіршення точності виготовлення деталі. Розміри відколів досягали 0,1 ... 0,5 мм.

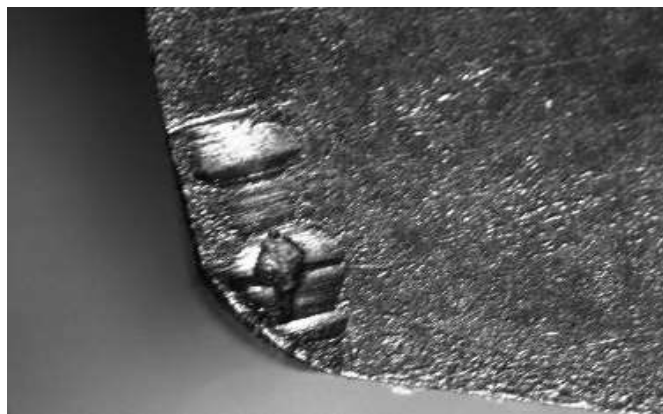
Встановлено, що сколоутворення є процес крихкого відділення фрагментів твердого сплаву по передній поверхні уздовж ріжучого леза у вигляді тонкої пластини з утворенням лунки у формі улоговинки, що мають гострі кромки.



а



б

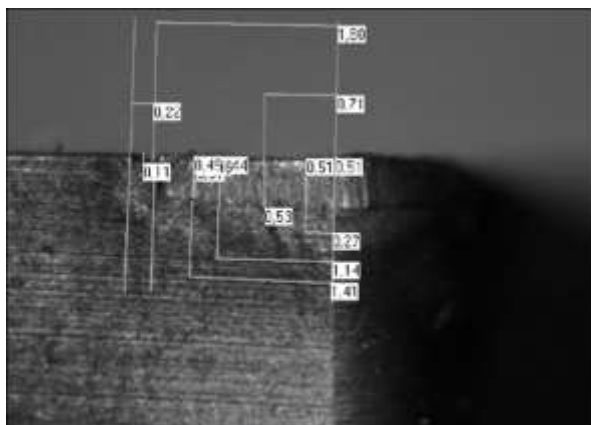


б

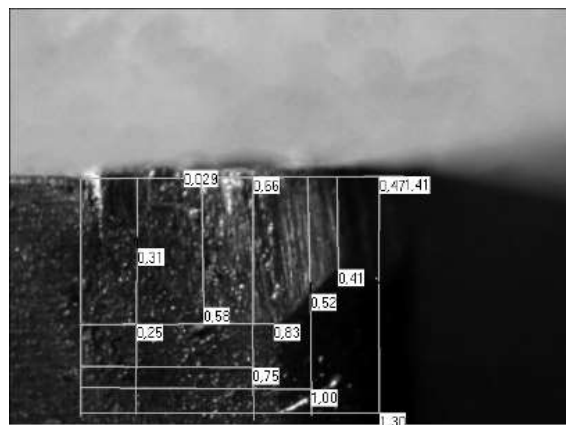
Рис. 3. Лункоутворення на передній поверхні змінних багатограних твердосплавних пластин різця без покриття TiN: а- T5K10; б - BK8; в- T40

Далі проведено порівняльний аналіз характеру зносу і стійкості ріжучого інструменту на прикладі змінної п'ятигранної пластини T5K10 з покриттям *TiN* і без покриття. На рис. 4 б, в ході безперервного точіння сталі 20X13, пластина, на якій було відсутнє нітридо-титанове покриття,

спостерігався підвищений знос і підвищена інтенсивність дифузійних процесів на ділянці пластичного контакту. На пластині з *TiN* покриттям зношування проходило рівномірно, а також стійкість ріжучого інструменту збільшувалася на 30%.



а



б

Рис. 4. Змінна багатогранна твердосплавна пластина різця T5K10: а-пластина з покриттям TiN; б - пластина без покриття TiN

Висновки. Таким чином, проаналізувавши отримані експериментальні дані, можна зробити висновок: високі показники зносостійкості показали пластини, що мали фаску 1x450, також наявність фаски сприяло збільшенню стійкості ріжучої кромки до викрошування; використання змащувально-охолоджуючої рідини сприяло зменшенню температури різання, своєчасного видалення із зони різання стружки і продуктів зношування інструменту, що призводило до зниження перегріву пластини, внаслідок чого спостерігалось збільшення часу стійкості ріжучого інструменту на 30-40%; різці, що

оснащувалися пластинами без *TiN* покриття, піддавалися активному абразивно-механічному зношуванню в умовах адгезійної взаємодії інструментального матеріалу зі стружкою.

Наявність же покриттів на ЗПП призвела до зменшення ширини площі контакту у два-три рази, відповідно зменшувалася і площа контакту стружки з передньою поверхнею, в результаті чого істотно знизився коефіцієнт тертя і зменшився коефіцієнт усадки стружки. Отже доведено, що при точінні важкооброблюваних жароміцних корозійностійких сталей, на прикладі 20X13, при однакових режимах різання різцями,

що були оснащені змінними ПНП з TiN – інструменту підвищуються в два рази в покриттям, стійкісні характеристики ріжучого порівнянні з різцями, що не мають покриттів.

Список використаних джерел:

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями: монография / под ред. И.С. Форстен. А.С. Верещака. М.: Машиностроение, 1993. 325с.
2. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
3. Повышение прочности и износостойкости твердосплавного инструмента / Л.Г. Куклин, В.И. Сагалов, В.Б. Серебровский, СП. Шабашов. М.: Машиностроение, 1968. 140 с.
4. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов [Текст]. Х.: Вища школа, 1987. 128 с.
5. Табаков В.П., Чихранов А.В. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания [Текст]. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 255с.
6. Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2008. 311 с.
7. Станчук Э.А., Грипас В.Н., Прибыш А.И. Производительная обработка жаропрочных сплавов. *Материалы труды института*. Николаев: НКИ, 1974. Выпуск 18. С.54-57.
8. Москалев А.П., Лимарь А.А. Обработка хромистых сталей. *Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: НУК, 2012. С.121 – 123.
9. Энтелеса С.Г., Берлинера Э. М. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
10. Лимарь А.А. Повышение износостойкости режущего инструмента в условиях точения хромистой стали. *Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: НУК, 2012. С.144 – 145.
11. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. №5.
12. Каиров А.С., Лимарь А.А., Анастасенко С.Н. Повышение стойкостных характеристик режущего инструмента путем применения смазочно-охлаждающих технологических сред. *Вісник національного технічного університету «КПІ»*. Серія «Машинобудування». 2014. №1 (70). С.88 –93.
13. Лимарь А.А. Влияние износостойких покрытий на стойкостные характеристики режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых коррозионностойких материалов. *Вісник національного технічного університету «КПІ»*. 2013. Вип. 2(68). С. 116.
14. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: монография. К.: АИНУ, 2002. Кн. 1. 587 с.
15. Костюк Г.И. Физико-технические основы напыления покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированной технологии. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. К.: Изд-во АИНУ 2002. Кн. 2. 441 с.

А. А. Лимарь. Повышение эффективности обработки жаропрочных сталей в условиях непрерывного точения

Работа посвящена исследованию факторов, влияющих на стойкостные характеристики режущего инструмента в условиях точения жаропрочных коррозионностойких сталей. Рассмотрены методы повышения износостойкости резца со сменными пятигранными неперетачиваемыми пластинами. Проанализирован характер износа сменных многогранных пластин и причины разрушения режущих частей резца в условиях непрерывистого точения с износостойкими покрытиями.

Ключевые слова: режущий инструмент, пятигранные пластины, смазочно-охлаждающие жидкости, прочностные характеристики, износостойкость резца, износостойкие покрытия, труднообрабатываемые материалы.

O. Lymar'. Increasing the efficiency processing of heat-resistant steels in conditions of continuous turning

The work is devoted to the study of factors influencing the resistance characteristics of the cutting tool in the conditions of turning heat-resistant corrosion-resistant steels. Methods for increasing the wear resistance of the cutter with replaceable pentagonal non-sharpening plates are considered. The nature of replaceable polyhedral plates wear and the reasons of destruction of cutting parts of the cutter in the conditions of continuous turning with wear-resistant coverings are analyzed.

Keywords: cutting tool, pentagonal plates, lubricating and cooling liquids, stability characteristics, wear resistance of the cutter, wear-resistant coatings, hard-to-process materials.



Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution 4.0 International License