

**Гончар В.А.,
Паршенко А.В.,
Донченко Т.В.**

Хмельницький національний університет
м. Хмельницький, Україна
E-mail: rogervova@gmail.com

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПІСЛЯ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ У БЕЗВОДНЕВИХ НАСИЧУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩАХ

УДК 621.793

В статті описані дослідження зносостійкості метало різучого інструменту, підвищення його довговічності шляхом зміцнення азотуванням в тліючому розряді в безводневих середовищах.

Ключові слова: інструмент, тліючий розряд, азот, зносостійкість.

Інструмент є основною складовою машинобудівного виробництва, від якості та стану якого залежить не тільки продуктивність праці, але і якість продукції, що виготовляється. Тому підвищення зносостійкості різального інструменту (рис. 1) є важливою народногосподарською задачею, вирішення якої сприяє зростанню економічності та конкурентоспроможності виробів та виробництва загалом. Питанням вивчення та вирішення даної проблеми присвячено багато робіт [1 - 9], аналіз яких показує, що перспективними методами підвищення зносостійкості інструменту є нанесення зносостійких покриттів методами осадження у вакуумі [1, 2], електроіскрового легування [3], хіміко - термічної обробки в плазмі тліючого розряду [4, 7, 8], лазерної термообробки [9] тощо. Однак, дана проблема до кінця не вирішена і залишається актуальною на даний час.



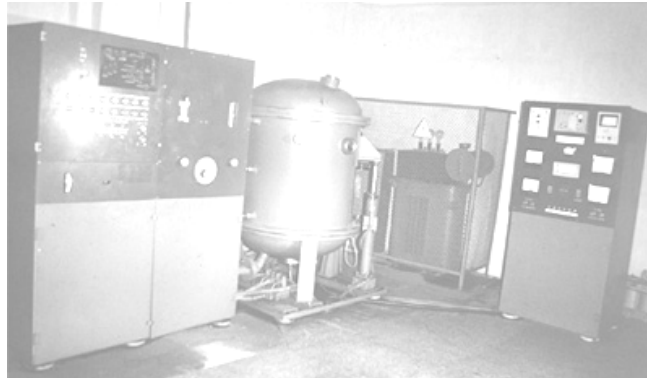
Рис. 1 – Металорізальний інструмент

В роботах [5, 6, 10 - 12] показано, що в процесі різання на задній поверхні різального інструменту виникають великі контактні напруження, які викликають його інтенсивне зношування, в результаті чого проходить перерозподіл внутрішніх напружень різальної частини інструменту, що погіршує характеристики напружено-деформованого стану поверхневого шару і приводить до виникнення та розвитку мікротріщин, і, як наслідок, викришування леза інструменту. Дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів деталей з покриттями [13] показують, що найсприятливішою з точки зору міцності та зносостійкості є градієнтна структура матеріалу з плавним зменшенням твердості по глибині шару від поверхні до серцевини. Таку структуру забезпечують дифузійні покриття і, зокрема, азотування в тліючому розряді.

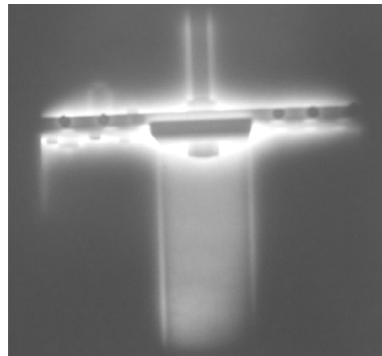
Застосування низькотемпературної плазми тліючого розряду для дифузійного зміцнення поверхонь, що працюють в умовах значних контактних навантажень, відкриває нові можливості підвищення їх економічності, керованості, розширення діапазону застосування властивостей поверхонь деталей та підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Нами розроблені технології зміцнення поверхонь різального інструменту методом нанесення дифузійних покриттів в плазмі тліючого розряду в безводневих середовищах (суміші азоту з аргоном) з отриманням на поверхні інструментальних сталей і твердих сплавів нітридних фаз, які, виключають шкідливі викиди в атмосферу та покращують умови праці, забезпечують підвищення у декілька разів їх зносостійкості, зниження у 10 разів тривалості процесу обробки та енергозатрати. В традиційних процесах газового азотування як насичуючі гази застосовуються аміак чи суміш азоту із воднем. Особливістю да-

них розроблених технологій є те, що водень, який входить до складу насичуючого середовища, замінюється аргоном. Це приводить до зміни кінетики процесу дифузійного насичення: на 20 - 25 % зменшується енергія активації і на 15 - 20 % збільшується константа швидкості. У зв'язку із тим, що атомна маса аргону у 40 разів перевищує атомну масу водню, в результаті бомбардування поверхні деталі іонами аргону інтенсивніше проходить процес іонного очищення поверхні від окислів та утворюється значна кількість дефектів, які і сприяють прискоренню процесу дифузії азоту вглиб металу. Бомбардування поверхні іонами азоту в період дифузійного насичення підсилює процес зворотного катодного розпилювання, в результаті чого на поверхні окрім нітридних ϵ - і γ - фаз утворюються ще і α -фаза, що сприяє підвищенню пластичності поверхневого шару. Саме застосування безводневих насичуючих середовищ в технологічних процесах дозволило виключити водневе окрихчування металів і підвищити надійність та довговічність конструкційних елементів виробів та інструменту. В Хмельницькому національному університеті розроблено та експлуатується обладнання для обробки в тліючому розряді (рис. 2).



а



б

Рис. 2 – Обладнання для обробки деталей (а) та плазма тліючого розряду

Для маломірного інструменту та інструменту, що при експлуатації сприймає ударні навантаження, перевагу надають низькотемпературним процесам насичення, які забезпечують глибину шару до 15 мкм. Для крупного інструменту, що працює в «лагідних» умовах різання, можливе застосування високотемпературного процесу з наступним відпалюванням в аргоні. В результаті азотування інструменту збільшується його зносостійкість, червоностійкість, зменшується налипання металу і, як наслідок, підвищується довговічність.

Особливості формування зміцненого шару на вольфраммістких сталях типу P18 та P6M5 в першу чергу визначаються особливістю їх складу і структурного стану. Головним чинником, що впливає на твердість шару, є склад твердого розчину, і, перш за все, наявність у ньому W, Mo та V. Нітриди, що осаджуються в азотованому шарі швидкорізальної сталі, характеризуються підвищеною дисперсністю, твердістю та стійкістю проти коагуляції при нагріванні. Мікроструктура азотованого шару інструменту при 520 °С протягом 1 години є твердим α -розчином, що легований азотом, з рівномірно розподіленими нітридами легуючих елементів типу $(W, Fe)_2N$ та $(Cr, Fe)_2N$. При вищих температурах і збільшенні тривалості витримки при азотуванні на поверхні швидкорізальної сталі утворюється ϵ - фаза, збагачена легуючими елементами, якій притаманна підвищена крихкість, тому для різального інструменту її утворення небажане. Це свідчить про те, що важливими чинниками режиму азотування в тліючому розряді є тривалість процесу насичення і температура на поверхні оброблюваної деталі.

Попередні дослідження зносостійкості кінцевих фрез, зміцнених іонним азотуванням, проводились у виробничих умовах. Уся партія фрез із сталі Р6М5 діаметром від 6 до 18 мм була якісно заточена, частина фрез відібрана і оброблена азотуванням у тліючому розряді при 5-ти різних режимах, характеристика яких наведена в табл. 1.

Таблиця 1

**Режими азотування фрез в тліючому розряді
в безводневих середовищах**

Номер режиму ХТО	Температура, °С	Тиск у камері, Па	Склад середовища, %			Тривалість, хв
			азот	аргон	пропан	
I	490	220	75	25	-	30
II	490	220	75	22	3	30
III	490	220	75	22	3	60
IV	490	220	75	25	-	20
V	490	220	75	22	3	20

Матеріали деталей, що оброблялись: сплави ЛС-59, ВТ-1, Д16Т, ВТ-5; сталі 45, 12Х18Н9Т, ХВГ, У8А.

Ступінь затуплення зубів фрез оцінювалась за технологічними показниками: зміною розмірів елементів деталей та погіршенням параметра шорсткості поверхонь, що оброблялись. У разі їх невідповідності вимогам до деталей фреза вважалась такою, що вичерпала період стійкості, тобто затупленою. Для об'єктивності оцінки ефективності зміцнення кінцевих фрез, виготовлених із сталі Р6М5, методом іонного азотування, фрези при обробці матеріалів ВТ1, 12Х18Н9Т і ХВГ випробовувались без застосування мастильно-охолоджувальної рідини.

Попередні дослідження дозволили визначити час роботи зміцнених фрез, за якого величина зношування різального краю зміцненої фрези була одного порядку із зношуванням звичайного інструменту перед його переточуванням, а відправною точкою відліку при оцінюванні ефективності зміцнення фрез азотуванням у тліючому розряді була прийнята нормативна тривалість роботи інструменту без зміцнення, тобто $T = 30$ хв.

Як контрольний використовували інструмент із тієї ж партії, що і зміцнений, тому параметри заточки кінцевих фрез (як зміцнених, та і не зміцнених) були однакові. Режими різання були прийняті наступними: $n = 500-900$ об/хв, $S = 12,5-160$ мм/хв і $B = 3 - 10$ мм. Вибір режимів різання обумовлений відсутністю застосування мастильно-охолоджувальної рідини.

Враховуючи, що робота усього інструменту проходила в одних і тих же умовах, результати досліджень відображають реальне співвідношення стійкості зміцнених і необроблених фрез.

Результати попередніх досліджень, що наведені в табл. 2, свідчать про зростання стійкості фрез при обробці важкооброблюваних матеріалів від декількох до десятків разів.

Таблиця 2

Результати попередніх досліджень стійкості фрез

№ п/п	ХТО фрези	Діаметр фрези, мм	Режими різання			Матеріал деталей	Тривалість роботи, хв	Причини виходу із ладу
			n , об/хв	S , мм/хв	B , мм			
1	+	6	500	12,5	4	ВТ-5	100	Зношування
2	+	8	630	40	6	ВТ-5	125	Затуплення
3	+	12	500	40	5	ВТ-5	40	Затуплення
4	+	8	900	160	10	ЛС-59	900	Затуплення
5	+	8	630	160	5	Д16Т	400	Затуплення
6	+	8	630	50	3	сталь45	75	Затуплення
7	+	8	500	25	6	У8А	60	Затуплення
8	-	8	900	160	6	ЛС-59	30	Поломка
9	-	8	630	40	6	ВТ-5	30	Поломка
10	-	8	500	25	6	У8А	40	Поломка
11	+	12	400	31,5	8	12Х18Н9Т	100	Затуплення
12	-	12	400	31,5	8	12Х18Н9Т	40	Затуплення

Для детальнішого вивчення впливу режиму азотування на працездатність кінцевих фрез із сталі Р6М5 був проведений експеримент, в процесі якого фіксувалось зношування зубів звичайних та зміцнених фрез на задній поверхні.

Вимірювання зношування зубів кінцевих фрез по задній поверхні проводилось з використанням інструментального мікроскопа БМИ-1Ц з ціною поділки шкали відліку 0,005мм. Величина зношування для кожного зуба фрези визначалась як середнє арифметичне чотирьох вимірювань, тобто

$$h_{zi} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}, \text{ мкм (див. рис. 1). Отримані результати представлені в табл. 3.}$$

Таблиця 3

**Результати досліджень зношування фрез після азотування
в тліючому розряді за різними режимами**

Режим азотування	Типорозмір фрези	Оброблювальний матеріал	Середнє зношування зубів h_{zi} , мкм
II	Ø18	12X18H9T	115
	Ø12	12X18H9T	126
	Ø10	BT-1	235
	Ø10	XBG	330
	Ø8	BT-1	226
	Ø8	12X18H9T	288
	Ø8	XBG	360
III	Ø18	12X18H9T	98
	Ø10	XBG	100
	Ø10	BT-1	220
	Ø8	XBG	148
	Ø8	12X18H9T	96
IV	Ø10	12X18H9T	326
	Ø8	XBG	220
	Ø8	BT-1	170
V	Ø10	12X18H9T	160
	Ø10	XBG	360
	Ø8	BT-1	135
	Ø8	XBG	220

Результати досліджень роботи партії контрольних інструментів у тих же умовах наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати досліджень зношування партії контрольних фрез

Типорозмір фрези	Оброблювальний матеріал	Час роботи, хв	Середнє зношування зубів h_{zi} , мкм
Ø18	12X18H9T	30	115
Ø12	12X18H9T	30	126
Ø10	BT-1	30	235
Ø10	XBG	4	330
Ø8	BT-1	14	226
Ø8	12X18H9T	7	288
Ø8	XBG	3	360

Аналіз отриманих результатів показує, що при обробці сталі 12X18H9T зношування зубів зміцнених фрез в порівнянні із зношуванням звичайних фрез зменшилось в середньому від 2 до 6 разів. При усіх інших рівних умовах при обробці сталі XBG і сплаву BT-1 зміцнені кінцеві не ідуть в порівняння із звичайними, час роботи яких до поломки становив не більше 15 хв.

Порівнюючи різальні властивості фрез із сталі Р6М5, що зміцнювались при різних режимах, можна зробити висновок, що кращим виявився режим III: $t = 490$ °С, $p = 220$ Па, $T = 60$ хв, склад середовища – 75 % азоту, 22 % аргону і 3 % пропану.

Проте, слід відмітити, що різкої відмінності різальних властивостей кінцевих фрез, оброблених азотуванням при різних режимах, немає. Приміром, для обробки титанових сплавів можна рекомендувати режими IV і V; для обробки нержавіючої сталі – II і III. Кращі результати при обробці сталі ХВГ отримані при використанні режимів III і IV.

Узагальнюючи, слід констатувати, що застосування іонного азотування для зміцнення металорізального інструменту, виготовленого із швидкорізальних сталей, при вірному підборі режиму азотування може підвищити зносостійкість інструменту у декілька разів, що сприятиме зростанню економічності та ефективності машинобудівного виробництва.

Література

1. Верещак А.С., Трешвянов И.А. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение. – 1986. – 186 с.
2. Хасуй А. Техника напыления. – М.: Машиностроение. – 1975. – 288 с.
3. Резников Д.И., Муха И.М., Даниленко С.А. Упрочнение инструментов и технологической оснастки методом электроискрового легирования на установках ЭФИ-46А и ЕЛФА – 512 // Электронная обработка материалов. – 1987. – № 2. – С. 87-89.
4. Каплун В.Г., Урбанюк Є.А. Зміцнення робочих поверхонь деталей, інструменту і оснащення іонним азотуванням в безводневих середовищах // Сб. науч. труд. XI междунауч. науч.-техн. конференции “Машиностроение и Техносфера XXI века”. – 2004. – Том 3. – С. 254-258.
5. Мазур М.П. Визначення дійсних напружень на задній поверхні різального інструменту / Резаки и инструмент в технологических схемах. – 1999. – № 53. – С. 199-204.
6. Мазур М.П. Вплив зношування інструменту на контактні процеси на його поверхнях // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 1999. – № 9. – С. 81-86.
7. Каплун В.Г., Снозик О.В. Про механізм впливу іонного азотування на зносостійкість вольфрам-кобальтових твердих сплавів // Матер. міжн. наук.-техн. конф. «Сверхтвердые инструментальные материалы на рубеже тысячелетий: получение, свойства, применение». - К. : ИСМ НАН Украины. – 2001. – С. 171-172.
8. Каплун В.Г. Особенности формирования диффузного слоя при ионном азотировании в безводородных средах / Физическая инженерия поверхности. – Харьков. – 2003. – № 2. – Т. 1. – С. 141-146.
9. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия. – 1985. – 256 с.
10. Бураков В.А., Федосеенко С.С. Формирование структур повышенной износостойкости при лазерной закалке металлообрабатывающего инструмента // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1983. – № 5. – С. 16-17.
11. Каплун В.Г. Вплив покриттів на зносостійкість і довговічність підшипників кочення // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – Хмельницький. – 2003. – № 4. – С. 131-140.
12. Каплун В.Г., Каплун П.В., Паршенко К.А. Пути повышения износостойкости и долговечности конструктивных элементов при действии циклических контактных напряжений // Межд. сб. науч. труд. “Прогрессивные технологии и системы в машиностроении». – Донецк: ДНТУ. – 2005. – Вып. 30. – С. 97-104.
13. Каплун П.В. Дослідження напружено-деформованого стану пластини з покриттями при контактному навантаженні // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – С. 179-182.

Надійшла в редакцію 01.06.2018

Gonchar V.A., Parshenko A.V., Donchenko T.V. Resistance of cut tool after ion nitriding in non-hydrogen inflammable environments.

The tool is a basic component of machine-building production, the quality and condition of which depends on the quality of manufactured products. The solution contributes to increasing the profitability and competitiveness of products and production in general. Promising methods of increasing the wear-resistance of the tool are the application of wear-resistant coatings by methods of deposition in vacuum, electrospray doping, chemical-thermal treatment in a plasma of glow discharge, laser heat treatment. Studies show that the most favorable in terms of durability and wear resistance is the gradient structure of the material with a smooth decrease in hardness over the depth of the layer from the surface to the core. We have developed technologies for strengthening the surfaces of the cutting tool by the method of applying diffusion coatings in the plasma of the glow discharge in non-aqueous media (a mixture of nitrogen and argon) and obtaining on the surface of tool steels and solid alloys of nitride phases. It was the use of anhydrous saturated environments in technological processes to exclude the hydrogen permeation of reinforced products and tools. Khmelnytsky National University has developed and operated equipment for processing in the glow discharge. For a more detailed study of the effect of the nitriding regime on the performance of the end mills, an experiment was conducted in which the wear of the teeth of conventional and reinforced mills was fixed on the back surface. The analysis of the obtained results shows that during the treatment of steel the wear of the teeth of the strengthened mills in comparison with the wear of conventional mills decreased by an average of 2 to 6 times. The use of ion nitriding to strengthen the metal cutting tool made from high-speed steels, with the correct selection of the nitriding regime, can increase the durability of the tool several times, which will increase the cost-effectiveness and efficiency of machine-building production.

Key words: tool, glow discharge, nitrogen, wear resistance.

References

1. Vereckaja A.S. Treshvjanov I.A. Rezhushhie instrumenty s iznosostojkimi pokrytijami. M. Mashinostroenie. 1986. 186s.
2. Hasuj A. Tehnika napylenija, M. Mashinostroenie. 1975.- 288s.
3. Reznikov D.I., Muha I.M., Danilenko S.A. Uprochnenie instrumentov i tehnologicheskoy osnastki metodom elektroiskrovogo legirovanija na ustanovkah JeFI-46A i ELFA – 512. Jelektronnaja obrabotka materijalov. 1987. № 2. s. 87-89.
4. Kaplun V.G., Urbanjuk C.A. Zmicnennja robochih poverhon' detalej, instrumentu i osnashhennja ionnim azotuvannjam v bezvodnevih seredovishhah. Sb. nauch. trud. HI mezhdun. nauch.-tehn. konferencii "Mashinostroenie i Tehnosfera HHI veka", Donec'k. 2004. Tom 3. s. 254-258.
5. Mazur M.P. Viznachennja dijsnih napruzhen' na zadnij poverhni rizal'nogo instrumentu. Rezanie i instrument v tehnologicheskij shemah, 1999. № 53, s. 199-204.
6. Mazur M.P. Vpliv znoshuvannja instrumentu na kontaktni procesi na jogo poverhnjah. Visnik Zhitomir'skogo inzhenerno-tehnologichnogo institutu. 1999, № 9. s. 81-86.
7. Kaplun V.G., Snozik O.V. Pro mehanizm vplivu ionnogo azotuvannja na znosostijkist' vol'framokobal'tovih tverdih splaviv. Mater. mizhn. nauk.-tehn. konf. «Sverhtverdye instrumental'nye materialy na rubezhe tysjacheletij: poluchenie, svojstva, primenenie». K. ISM NAN Ukrainy. 2001. S 171-172.
8. Kaplun V.G. Osobennosti formirovanija difuznogo sloja pri ionnom azotirovanii v bezvodnorodnyh sredah. Fizicheskaja inzhenerija poverhnosti. Har'kov. 2003. № 2, t. 1. s. 141-146.
9. Lahtin Ju.M., Arzamasov B.N. Himiko-termicheskaja obrabotka metallov, M., Metallurgija, 1985, 256 s.
10. Burakov V.A., Fedoseenko S.S. Formirovanie struktur povyshennoj iznosostojkosti pri lazernoj zalkalke metalloobratyvjajushhego instrumenta. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov. 1983, № 5. S. 16-17.
11. Kaplun V.G. Vpliv pokrittiv na znosostijkist' i dovgovichnist' pidshipnikiv kochennja. Problemi tribologii (Problems of Tribology). Hmel'nic'kij. 2003. № 4. S. 131-140.
12. Kaplun V.G., Kaplun P.V., Parshenko K.A. Puti povyshenija iznosostojkosti i dolgovechnosti konstruktivnih jelementov pri dejstvii cyklicheskih kontaktnyh naprjazhenij. Mezhved. sb. nauch. trud. "Progressivnye tehnologii i sistemy v mashinostroenii» Donec'k, DNTU, 2005.vyp. 30, s. 97-104.
13. Kaplun P.V. Doslidzhennja napruzhenno-deformovanogo stanu plastini z pokrittijami pri kontaktomu navantazhenni. Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah. 1999. №4. S. 179-182.