

Методом низькотемпературної імплантації були отримані модифіковані покриття нітриду титану і хрому на підкладках інструментальних сталей. У цій статті вивчаються структура і фізико-механічні властивості цих покриттів, а також їх використання в якості захисних покриттів на дрібнорозмірному інструменті. В результаті проведення експериментальних досліджень отримані захисні покриття високої якості

Ключові слова: іонна імплантація, титан, хром, модифіковане покриття, експлуатаційна стійкість

Методом низькотемпературной имплантации были получены модифицированные покрытия нитрида титана и хрома на подкладках инструментальных сталей. В настоящей статье изучаются структура и физико-механические свойства этих покрытий, а также их использование в качестве защитных покрытий на мелкогабаритном инструменте. В результате проведения экспериментальных исследований получены защитные покрытия высокого качества

Ключевые слова: ионная имплантация, титан, хром, модифицированное покрытие, эксплуатационная стойкость

УДК 533.59

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27971

ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ДРІБНОРОЗМІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ МЕТОДОМ НИЗЬКО- ТЕМПЕРАТУРНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ ІОНІВ

Л. О. Васецька

Кандидат технічних наук, старший викладач
Кафедра загальної фізики та технічної механіки
Інститут хімічних технологій Східноукраїнського
національного університету
ім. Володимира Даля (м. Рубіжне)
вул. Леніна, 31. м. Рубіжне,
Луганська обл., Україна, 93009
E-mail: VasLa@i.ua

1. Вступ

Сучасна стратегія промислової політики в області машинобудування передбачає нарощування темпів виробництва продукції високого технологічного рівня, при цьому однією з істотних проблем є знос інструменту, деталей машин і, як наслідок, зниження їх експлуатаційної стійкості та продуктивності виробництва. При цьому для виробника особливо важливим є не тільки застосування зносостійкого інструменту, але й зменшення витрат на його придбання. Одним з шляхів зниження витрат є заміна дорогих матеріалів дешевшими. Проте така заміна призводить до зниження ресурсу роботи інструменту і деталей машин [1, 2].

Зважаючи на цю проблему актуальним завданням щодо підвищення експлуатаційної стійкості дрібно-розмірного інструменту являється отримання поєднання високої твердості і міцності поверхневого шару та високої пластичності основи виробу шляхом зміни мікроструктури робочої поверхні за допомогою методу обробки приповерхневої області матеріалу, який буде не тільки ефективним, але й економічним.

2. Літературний огляд і постановка проблеми

Продовження терміну служби інструменту і деталей машин нині є актуальним і можливим за допомо-

гою методів, які не вимагають великих енергетичних витрат і в той же час враховують ряд чинників, які в сукупності роблять істотний вплив на зменшення зносу [3, 4]: зміна структури поверхні, підвищення твердості поверхні, збільшення адгезійно-когезійного зв'язку.

Відома безліч методів, які істотно підвищують експлуатаційні властивості матеріалів. Так, наприклад, при вакуумно-дуговому методі для підвищення твердості на 30 % та зносостійкості поверхні застосовують високодозну імплантацію іонів, в процесі такої обробки температура підкладки варіюється від 250 °С [5] до 500 °С [6]; відомим методом електронно-променевої обробки підвищують стійкість в 1,8 рази після опромінення свердел зі швидкорізальної сталі електронами високих енергій [7]; підвищення ресурсу роботи різального інструменту в 3–4 рази отримують осадженням покриттів за допомогою магнетрона при нагріві підкладки до 350 °С [8]. Для досягнення необхідного результату застосовують також поєднання в собі декількох методів [9, 10]. При цьому всі методи є енергоємними, оскільки супроводжуються застосуванням високих доз впроваджуваних іонів і високих температур в процесі обробки матеріалів.

Разом з цими методами відомий метод іонної імплантації, який відрізняється порівняно малою енергоємністю і враховує не лише чинники, сприяючі зниженню зносу, але і супроводжується низько-

температурними процесами, що не викликає викривлення дрібнорозмірного інструменту [11, 12]. Проте цей метод все-таки недостатньо досліджений в потрібному напрямі, тому доцільність застосування низькотемпературної імплантації для поліпшення експлуатаційних властивостей інструменту, виготовленого з інструментальних сталей, вимагає подальшого вивчення.

3. Мета та задачі досліджень

Основною метою роботи є виявлення доцільності застосування низькотемпературної імплантації для поліпшення експлуатаційних властивостей дрібнорозмірного сталевго інструменту.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- підбір оптимальних параметрів імплантації для отримання якісних покриттів;
- встановлення взаємозв'язку між фізико-механічними властивостями поширених в машинобудуванні сталей і експлуатаційною стійкістю дрібнорозмірного інструменту, виготовленого з цих сталей.

4. Оптимальні параметри низькотемпературної імплантації і методика досліджень модифікованої поверхні інструментальних сталей

В якості підкладки були використані зразки сталей ХВГ і Р18 в кількості 20 штук. В підкладку одночасно імплантувалися іони робочого газу азоту і легуючого матеріалу мішені. Використовували мішені титану і хрому. Імплантація проводилася при кімнатній температурі і робочому тиску газу $3,32 \cdot 10^{-2}$ Па. Підкладки були зважені до і після імплантації на аналітичних вагах моделі ВЛР-200Г.

Для отримання якісних покриттів підбрано оптимальні режими імплантації згідно [1]: $U_{розряду} = 400$ В, $I_{розряду} = 0,5$ А, $U_{мішені} = 2$ кВ, $I_{мішені} = 50$ мА, $U_{підкл.} = 25$ кВ, $I_{підкл.} = 35$ мА. Час імплантації варіювався від 10 до 110 хвилин. Доза іонів, упродовженних в підкладку складала $5,73 \cdot 10^{16} - 6,73 \cdot 10^{17}$ іон/см².

При виявленні різних фаз в поверхневому шарі сталевих зразків використовувалася рентгенівська установка ДРОН-4 з рентгенівською трубкою БСВ-22 із CuK_{α} -випромінюванням. Для вивчення зернистості структури зразка використовувалися вертикальний мікроскоп МИМ-7 і горизонтальний мікроскоп МИМ-8. Дослідження поперечного зрізу системи «підкладка-покриття» проводилося за допомогою металографічного мікроскопа МИМ-8. Для чого попередньо отримували мікрошліфи, проводили їх шліфування, полірування і травлення поверхні мікрошліфів розчином 4 % HNO_3 в етиловому спирті. Вимірювання мікротвердості та склерометричні випробування проводилися на стандартному приладі ПМТ-3 при навантаженнях на інденстор від 15 до 35 г. Ширина подряпин вимірювалася за допомогою об'єкт-мікрометра ОМО з ціною поділки 0,01 мм. Всі дослідження проводилися згідно загальноприйнятих методик.

5. Результати експерименту з визначення взаємозв'язку між фізико-механічними властивостями модифікованої поверхні дрібнорозмірного сталевго інструменту і його експлуатаційною стійкістю та їх обговорення

Оптичні дослідження показали, що в процесі модифікації підкладок інструментальної сталі ХВГ іонами Ті і N відбувається утворення дрібнозернистої структури (рис. 1).



Рис. 1. Структура сталі ХВГ до імплантації x1320

При використанні хромової мішені на всіх часах імплантації сталі Р18 розмір зерна практично не змінюється (рис. 2), що пов'язано з превалюванням утворення фази нітриду хрому, оскільки цей метал знаходиться і в мішені, і у складі підкладки модифікованого покриття.

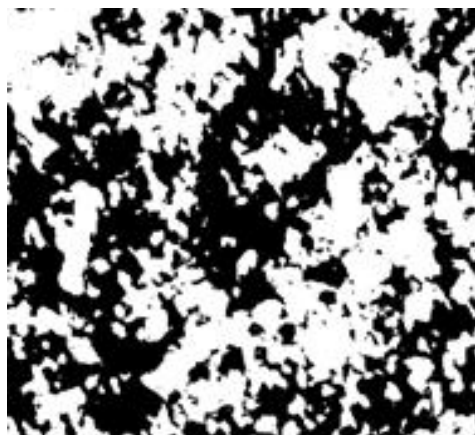


Рис. 2. Структура сталі ХВГ після 55 хв імплантації x1320

Наявність фаз CrN підтверджується в результаті рентгенографічного аналізу покриття на підкладці інструментальної сталі (рис. 3 а, б).

Вимірювання товщини модифікованого шару (рис. 4) показали, що при опромінуванні сталі ХВГ іонами титану і азоту твердофазні реакції перешкоджають протіканню глибинної дифузії, адже в сильнолегованій сталі окрім атомів вуглецю присутні атоми хрому, марганцю і ванадію. Тому максимальна товщина шару складає 0,63 мкм, а залежність товщини мо-

дифікованого шару від часу на підкладках інструментальних сталей до 40 хвилин імплантації є лінійною, а після 40 хвилин – параболічною.

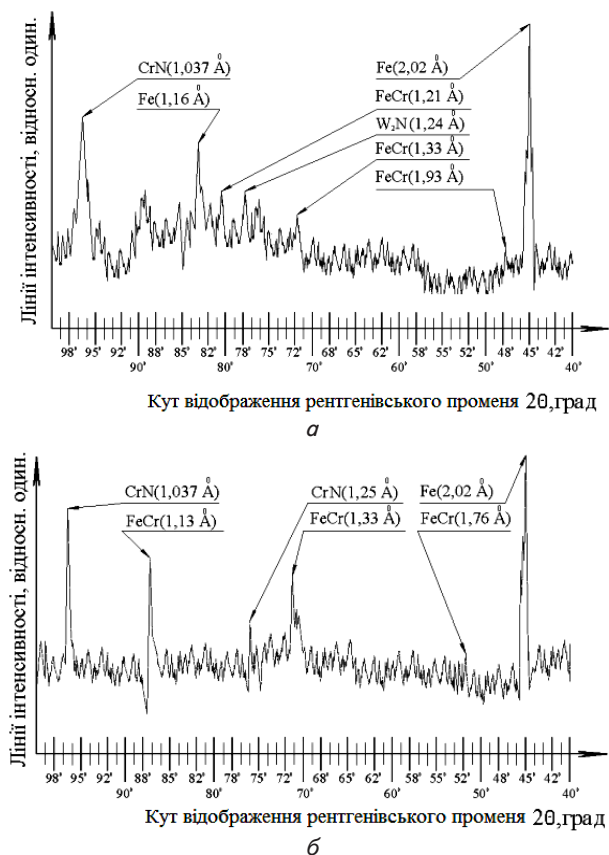


Рис. 3. Дифрактограма покриття, отриманого на сталі P18: а – після 50 хвилин; б – після 90 хв імплантації нітриду хрому

Над глибинною дифузією превалює інтенсивне утворення фаз CrN і W₂N (P18–18 % W) при використанні мішені Сг для створення модифікованого шару на сталі P18 (рис. 3 а, б), що сприяє лінійному росту покриття із збільшенням часу імплантації (рис. 5). Максимальна товщина покриття 0,94 мкм.

Вимірювання мікротвердості модифікованих нітридних покриттів показали її нелінійний характер: на 30 хвилини імплантації іонів титану і азоту в підкладку інструментальної сталі ХВГ вона досягає величини 8,45 ГПа (рис. 6), що пояснюється утворенням при цьому часі твердих фаз нітриду мішені і елементів підкладки. Зниження твердості із збільшенням часу імплантації пов'язане із впровадженням іонів углуб грат.

Більш однорідна залежність мікротвердості від часу імплантації іонів хрому і азоту в підкладку інструментальної сталі на відміну від залежності при використанні титанової мішені пояснюється однорідністю фазового складу. Максимальне значення твердості композиції при використанні в якості підкладки інструментальної сталі P18 рівна 5,41 ГПа.

Про достатньо сильний адгезійно-когезійний зв'язок покриття з інструментальними сталями свідчать результати склерометричних досліджень. Максимальну величину адгезійно-когезійного зв'язку 5,77 ГПа отри-

mano при імплантації іонів титану (рис. 7) в порівнянні з імплантацією іонів хрому – 2,156 ГПа.



Рис. 4. Оптичний знімок поперечного зрізу покриття на підкладки сталі ХВГ при 55 хв імплантації x1950

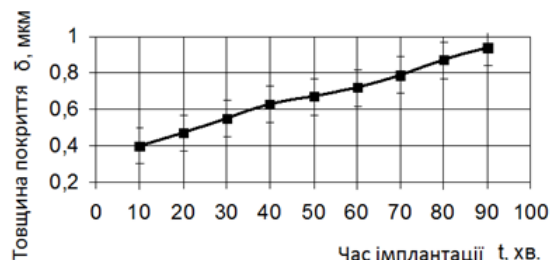


Рис. 5. Графік залежності товщини модифікованого покриття δ, мкм на підкладки сталі P18 від часу імплантації нітриду хрому t, хв

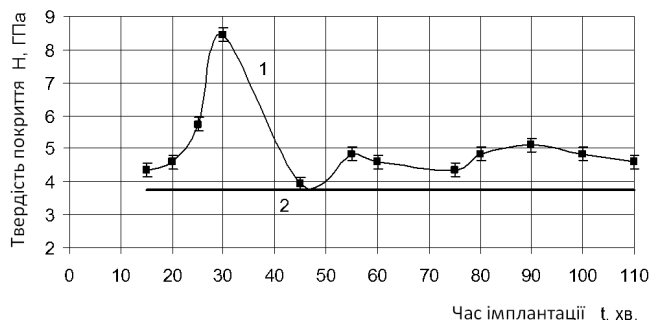


Рис. 6. Графік залежності твердості модифікованого покриття H, ГПа сталі ХВГ від часу імплантації нітриду титану t, хв.: 1 – твердість композиції; 2 – твердість підкладки

Це безпосередньо пов'язано із зменшенням зерна при імплантації сталі іонами азоту і титану. Дрібнозерниста структура є щільнішою, тому зчеплення основи з покриттям тим більше, чим дрібніше зерно. Крім того, візуально видно, що при будь-якому часі імплантації покриття повністю не відділяється від підкладки (рис. 8), що свідчить про хороші пластичні властивості матеріалу.

Отримані модифіковані шари на сталі P18 були використані в якості захисних покриттів на робочі кромки дрібнозернистого інструменту: ножі і диски в'язального устаткування на в'язальному підприємстві (м. Рубіжне). Технологічні дослідження показали ефективність використання модифікованого інструменту (рис. 9).

За весь час технологічних випробувань поверхні з покриттям мали більшу стійкість порівняно з необробленим інструментом, виготовленим з тієї ж сталі.

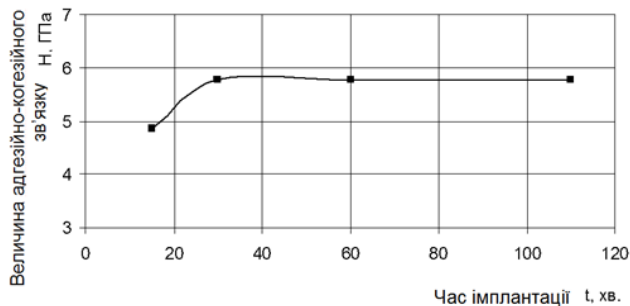


Рис. 7. Графік залежності величини адгезії модифікованого покриття H, ГПа сталі ХВГ від часу імплантації нітриду титану t, хв



Рис. 8. Результати дряпання поверхні покриттів нітриду хрому на сталі P18 при навантаженні на індентор 15 г після 60 хвилин імплантації x800

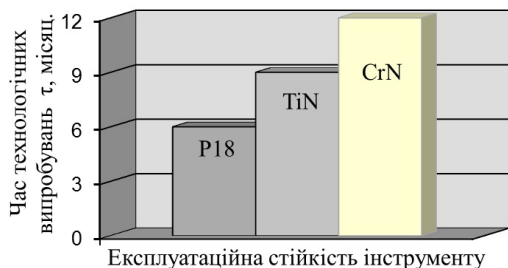


Рис. 9. Гістограма зростання зносу робочої поверхні дисків в'язального устаткування із сталі P18 від нанесеного покриття

6. Висновки

Проведеними дослідженнями щодо підбору оптимальних параметрів імплантації для отримання якісних покриттів виявлено оптимізацію режимів процесу ($U_{\text{підкл.}}=25$ кВ, $I_{\text{підкл.}}=35$ мА, $D=3,67 \cdot 10^{17}$ іон/см² за 1 годину), яка дозволяє отримувати якісні модифіковані покриття за рахунок поєднання високої твердості та зчеплення з основою: підвищення мікротвердості поверхні в 2,2-2,5 рази, утворення адгезійно-когезійного зв'язку покриттів зі сталлю; встановлено взаємозв'язок між фізико-механічними властивостями поширених в машинобудуванні сталей і експлуатаційною стійкістю дрібнорозмірного інструменту, виготовленого з цих сталей: підвищення стійкості до зносу робочих поверхонь деталей в'язального устаткування з покриттям TiN (в 1,5 рази) і CrN (в 2 рази) порівняно з інструментом без покриття.

Таким чином, дослідженнями показано доцільність використання методу низькотемпературної імплантації іонів для поліпшення експлуатаційної стійкості дрібнорозмірного сталевго інструменту і невеликих, але таких, що мають ключове значення деталей машин.

Література

- Красильников, Л. А. Волочильщик проволоки [Текст] / Л. А. Красильников, С. А. Красильников. – М.: Металлургия, 1977. – 240 с.
- Чейлях, А. П. Повышение долговечности фильер с использованием метастабильных состояний в хромистых инструментальных сталях [Текст] / А. П. Чейлях, С. В. Прекрасный, С. Д. Щетинин, В. П. Сущенко // Металл и литье Украины. – 2003. – С. 33–35.
- Физика износостойкости поверхности металлов [Текст]: сб. науч. трудов / науч. ред. В. И. Владимиров и др. – Л.: ФТИ, 1988. – 230 с.
- Ющенко, К. А. Инженерия поверхности [Текст]: підр. / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж. – К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.
- Погребняк, А. Д. Влияние высоких доз ионов N^+ , $N^+ + Ni^+$, $Mo^+ + W^+$ на физико-механические свойства TiNi [Текст] / А. Д. Погребняк, С. Н. Братушка, Л. В. Маликов и др. // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79, № 5. – С. 65–72.
- Шулаев, В. М. О влиянии атомарного азота на процесс синтеза вакуумно-дуговых покрытий Mo-N [Текст] / В. М. Шулаев, А. А. Андреев // ФШ ФИП PSE. – 2007. – Т. 5, № 1-2. – С. 75–78.
- Сергеева, М. Х. Наноструктурная модификация поверхности [Текст] / М. Х. Сергеева, В. А. Кохановский // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т. 8, № 2. – С. 192–195.
- Сергеев, В. П. Трибомеханические свойства и структура нанокompозитных покрытий $Ti_{1-x}Al_xN$ [Текст] / В. П. Сергеев, М. В. Федорищева, А. В. Воронов и др. // Известия Томского политехнического ун-та. – 2006. – Т. 309, № 2. – С. 149–153.
- Патент 2167216 Рос. Федерация: МПК7 С 23 С 14/48. Способ упрочнения твердосплавного режущего инструмента [Текст] / Полеценко К. Н., Волошина И. Г., Поворознюк С. Н., Ремнев Г. Е., Гринберг П. Б. – заявитель и патентообладатель Омск, гос. ун-т. – №99120890/02; заявл. 05.10.99; опубл. 20.05.01.
- Ремнев, Г. Е. Повышение стойкости твердосплавного инструмента методом предварительной обработки мощным ионным пучком и осаждения нитрид-титанового покрытия [Текст] / Г. Е. Ремнев, В. А. Тарбоков // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7, № 2. – С. 329–332.
- Игнатенко, П. И. Структура и свойства пленок нитридов различных металлов, полученных методом ионной имплантации [Текст] / П. И. Игнатенко, Н. А. Кляхина, М. Ю. Бадекин // Неорганические материалы. – 2005. – Т. 41, № 1. – С. 40–45.
- Данилин, Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок [Текст] / Б. С. Данилин. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 324 с.