

**Венцель Є.С.,  
Щукін О.В.**

Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет,  
м. Харків, Україна  
E-mail: [supercar\\_88@mail.ru](mailto:supercar_88@mail.ru)

## **ЗБІЛЬШЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НОЖІВ ЗЕМЛЕРИЙНО - ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

УДК 621.878

Наведено методику та результати лабораторних випробувань на машині тертя СМЦ-2 та на лабораторному стенді зразків тертя зі сталі 65Г, з якої виготовлені ножі робочого обладнання землерийно-транспортних машин. Показано, що застосування іонно-плазмового покриття  $TiN-Cr_2N$  є найбільш раціональним способом підвищення зносостійкості ножів (на прикладі зразків тертя та фрагментів ножів автогрейдера). Показано, що іонно-плазмове покриття  $TiN-Cr_2N$  дозволяє підвищити зносостійкість фрагментів різальних елементів, умови роботи яких наближені до реальних, приблизно в 1,7 рази.

**Ключові слова:** ніж, знос, іонно-плазмове покриття, колodka, ролик, машина тертя.

### **Вступ**

Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів (РО) землерийно-транспортних машин (ЗТМ) є найважливішим резервом підвищення їх ефективності експлуатації. З великого різноманіття методів і способів підвищення зносостійкості РО слід виділити методи нанесення зносостійких покриттів, у тому числі, іонно-плазмових (ІПП), які в останні роки знаходять все більш поширене застосування в техніці. Але незважаючи на певні успіхи в цьому напрямку, до цього часу ІПП не використовують для покращення зносостійких характеристик ножів РО ЗТМ.

Найбільшого розповсюдження отримують ІПП, що складаються з нітридів, карбідів, карбонітридів і тугоплавких елементів [1]. Вони, на думку авторів робіт [1, 2 та ін.], забезпечують корозійну стійкість, значно зменшують знос і як наслідок, ресурс деталей машин. Такі покриття утворюються в умовах конденсації іонного бомбардування (КІБ) [3]. При цьому іонне бомбардування використовується для очищення поверхні від домішок і значного підвищення адгезійного зв'язку покриття з основним металом [4]. Особливість таких покриттів – утворення нанокристалічної структури [1]. Дослідженнями було встановлено, що структура отриманого покриття дозволяє збільшити міцність деталей на 35 – 40 % [1]. При цьому не знижується пластичність, тобто збільшується конструктивна міцність в результаті «заліковування» дефектів при іонному бомбардуванні і впливі механізму надпластичної деформації в поверхневому шарі [5].

Такі покриття знайшли застосування, наприклад, в золотникових парах гідروприводу, які виготовляються зі сталі 38Х2МЮА. У ході досліджень було встановлено, що ІПП  $TiN$ , що нанесене на поверхню золотникових пар, зменшує знос в 3,0 рази [2]. Разом з тим авторами роботи [5] встановлено, що ІПП  $Ti-Cr-N$  володіють значним опором пластичній деформації. До того ж в [6] показана ефективність застосування ІПП  $Ti-Cr-N$ , нанесених методом КІБ, для кульок радіально-поршневих гідромашин одноступінчастої дії. При цьому, як свідчать результати досліджень, зносостійкість кульок, що виготовлені зі сталі Р6М5Ф3-МП, підвищується в 2,3 рази.

Як відмічалось вище, ІПП в даний час не отримала широкого застосування взагалі і для різальних елементів РО ЗТМ, зокрема, в силу малої вивченості питання впливу на механічні властивості різних матеріалів ножів РО.

Для досліджень було обрано ніж автогрейдера, оскільки ця деталь найбільш піддана швидкому зношуванню з боку абразивних частинок ґрунту під час роботи машини.

### **Мета і постановка задачі**

Метою даної роботи є вибір і обґрунтування матеріалу складу такого ІПП з уже встановленими режимами, яке би забезпечило найбільшу зносостійкість ножів ЗТМ.

### **Виклад матеріалів дослідження**

Для вибору складу ІПП для ножів автогрейдера були проведені лабораторні випробування на машині тертя СМЦ-2, які проводилися за схемою «колodka-ролик», що імітує умови роботи нижчих кінематичних пар.

Характеристика зразків була наступна:

- матеріал – сталь 65Г, загартована СВЧ (хімічний склад наведено в табл. 1);
- твердість – 55HRC;
- чисто та поверхонь – 0,4 мкм.

Такі показники сталі повністю відповідають матеріалу, з якого виготовляються реальні ножі РО автогрейдерів.

Таблиця 1

**Хімічний склад роликів і колодок, виготовлених зі сталі марки 65 Г і використаних у випробуваннях**

Найменування деталі	Вміст елементів, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
Ролики і колодки	0,68	0,22	1,05	0,03	0,07

*Примітка:* хімічний склад роликів і колодок відповідає матеріалу ножів РО автогрейдерів.

Діаметр роликів становив 50 мм, ширина – 12 мм, ширина колодки – 10 мм, частота обертання ролика – 500 об/хв. Ролики занурювалися в кювету з густим абразивним середовищем, що складається з оливи І-Г-А-32 і дрібнозернистого кварцового піску із середнім розміром абразивних частинок 0,4 мм. Концентрація абразиву (кварцового піску) у оливі складала 30% за об'ємом.

Як показали пошукові експерименти і досвід проведення аналогічних випробувань на машині тертя СМЦ-2, навантаження на випробовувані зразки не повинна перевищувати 200 Н, оскільки в іншому випадку спостерігається утворення задирих на поверхнях тертя.

Режим випробувань зразків, виходячи з вищесказаних міркувань, був наступний. Чотири партії роликів і колодок піддавалися припрацюванню протягом 15 хвилин при навантаженні, що відповідає вазі каретки машини. Потім випробування тривали протягом 4 години 45 хвилин для кожної з чотирьох партій колодок при навантаженні 50 Н (перша партія), 100 Н (друга партія), 150 Н (третья партія) і 200 Н (четверта партія).

Знос зразків визначали за втрати ними маси за час випробування за допомогою зважування на аналітичних вагах ВЛА-200г-М з точністю до  $\pm 0,0001$  г з доведенням зразків до постійної маси.

Кожна з чотирьох партій роликів була розділена на чотири групи:

- перша група – 8 роликів з загартуванням СВЧ при температурі 910°C на глибину 3 - 4 мм;
- друга група – 8 роликів з ІПП TiN;
- третя група – 8 роликів з ІПП MoN;
- четверта група – 8 роликів з ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N.

Вибір саме таких матеріалів покриття пояснюється тим, що дані ІПП на основі Ti, одержані плазмовим напленням, найбільш часто використовуються при виробництві деталей ковшів землерийних машин, деталей гідроприводів ЗТМ, бурів для видобутку нафти, сільськогосподарських машин, молотів в молоткових млинах з метою зниження їх зносу [2, 5, 7 та ін.].

Для отримання достовірних результатів експерименти проводилися по вісім разів з використанням нових зразків і нових порцій змішаного з абразивом оливи. Така повторність експериментів забезпечила можливість отримання відносно похибки не більше 0,20 при довірчій ймовірності 0,9.

Результати випробувань на машині тертя СМЦ-2 наведені на рис. 1, з яких видно, що найбільший знос мають ті зразки, які були піддані тільки загартуванню СВЧ (наприклад, при навантаженні 200 Н знос зразків з загартуванням СВЧ склав 6,51 г). При цьому найменший знос 3,14 г при аналогічному навантаженні мають ті зразки, на поверхню яких наносилось ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N.

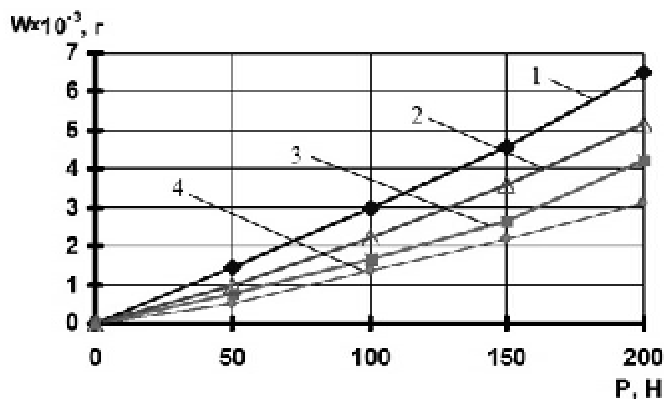


Рис. 1 – Залежність зносу  $W$  досліджуваних матеріалів від прикладеного навантаження  $P$   
 1 – сталь 65Г з загартуванням СВЧ; 2 – сталь 65Г з покриттям MoN;  
 3 – сталь 65Г з покриттям TiN; 4 – сталь 65Г з покриттям TiN-Cr<sub>2</sub>N

Крім того, сумарний знос зразків після випробувань на машині тертя СМЦ-2 збільшується прямо пропорційно підвищенню навантаження на них. При цьому знос зразків, підданих загартуванню СВЧ, при всіх навантаженнях значно більше ніж при нанесенні ІПП (в 2,78 рази при навантаженні 50 Н і в 2,08 рази при навантаженні 200 Н). Звертає на себе увагу той факт, що в міру підвищення навантаження різниці в зносі всіх чотирьох пар тій зразків збільшується.

Знос зразків з ІПП MoN і TiN при всіх навантаженнях менше порівняно із зразками після гарту СВЧ, але більше, ніж при використанні ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N.

Однак, машина тертя СМЦ-2 не дозволяє наблизити умови випробувань до умов експлуатації ЗТМ та врахувати в процесі зношування геометричні параметри ножів, проаналізувати особливості такого процесу конкретно для ножів ЗТМ. Тому для того, щоб оцінити вплив цих факторів на процес зношування, нами була спроектована і виготовлена лабораторна установка (рис. 2).

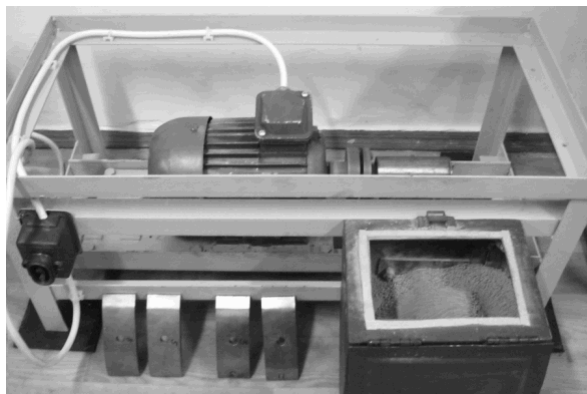


Рис. 2 – Загальний вигляд лабораторної установки

Принцип роботи лабораторної установки полягає в наступному. У завантажувальний бункер поміщається абразивна середовище, в якому встановлюється фрагмент ножа, що обертається безпосередньо в ґрунті з постійною кутовою швидкістю, що імітує роботу РО ЗТМ з ґрунтом.

За допомогою цієї установки нами були проведені три серії експериментальних випробувань, сутність яких полягала у визначенні зносу фрагментів ножа, виготовленого зі сталі 65Г з обраним ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N і без нього. Знос фрагментів ножа визначався шляхом встановлення втрати ними маси за час випробування за допомогою зважування на компараторі «Sartorius» з точністю до  $\pm 0,0005$  г. До і після випробувань фрагменти ножа знежирюємо в бензині, просушувалися протягом 20 хвилин і доводилися до постійної маси.

Кожна серія випробувань проходила в два етапи. На першому етапі зношувалися звичайні ножі, загартовані СВЧ, а на другому – ті ж ножі, але на їх поверхню наносилося ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N. У першій і другій серіях випробувань в завантажувальний бункер установки містилася абразивна середу – кварцовий пісок з розміром абразивних часток 3 і 5 мм, відповідно, в третій серії використовувався щебінь з розміром частинок 10 мм. При цьому щебінь в період випробувань замінювали на новий кожні 10 годин, так як він має значно меншу твердість, ніж зерна кварцового піску, а отже, схильний до диспергування під впливом дії фрагмента ножа.

Вологість абразивного середовища відповідно до її сертифікату становила не більше 5%. Частота обертання ножів –  $60 \text{ хв}^{-1}$ , час випробувань, при якому можна отримати відчутний знос – 50 годин.

Після закінчення кожних 10 годин роботи установки фрагмент ножа демонтували і після ретельного промивання в бензині з наступним просушуванням піддавали зважуванню. Різниця в масі до і після випробувань представляла собою їх знос.

Результати випробувань на знос наведені на рис. 3 - 5, з яких видно, що знос різальних елементів у всіх трьох абразивних середовищах носить лінійний характер протягом усього періоду випробувань. Це пояснюється, мабуть, тим що як і в реальних ЗТМ, в зоні контакту ножа з абразивної середовищем відбувається постійне оновлення абразивних частинок новими, у яких відсутня можливість постійно взаємодіяти один з одним і як наслідок, знижувати свій вплив у процесі зношування. При цьому нанесення ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N вельми істотно знижує знос фрагментів ножів:

- в середовищі кварцового піску з розміром абразивних часток 3 і 5 мм – в 1,8 і 1,7 рази, відповідно;
- в середовищі щебеню з розміром абразивних часток 10 мм – в 1,6 рази.

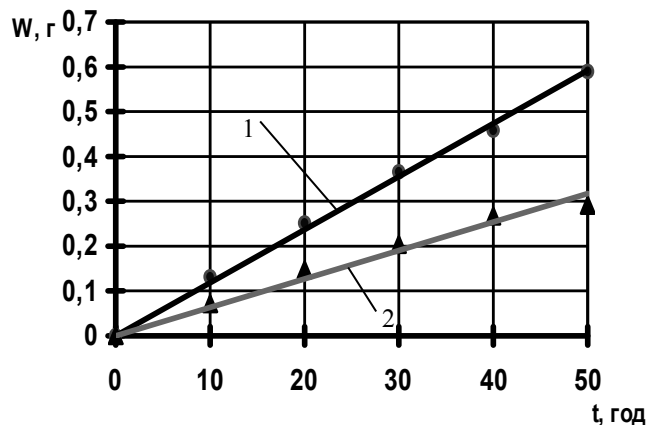


Рис. 3 – Графік залежності зносу  $W$  шпатного ножа (1) і з іонно-плазмовим покриттям  $TiN-Cr_2N$  (2) від часу  $t$  роботи в середовищі кварцового піску з розміром частинок 3 мм

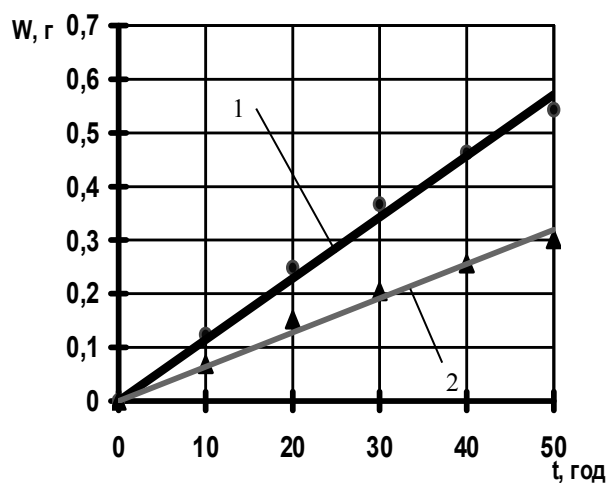


Рис. 4 – Графік залежності зносу  $W$  шпатного ножа (1) і з іонно-плазмовим покриттям  $TiN-Cr_2N$  (2) від часу  $t$  роботи в середовищі кварцового піску з розміром часток 5 мм

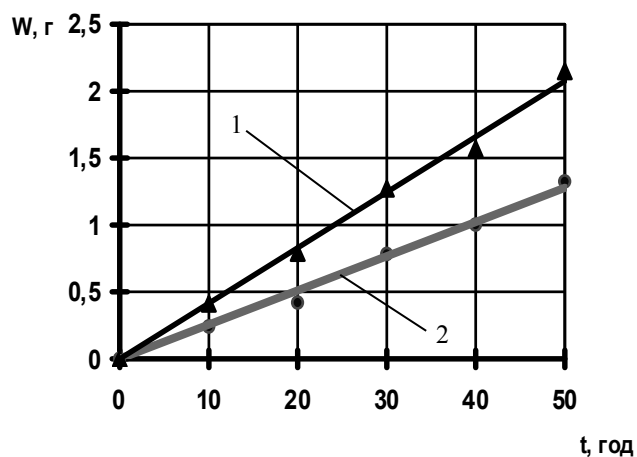


Рис. 5 – Графік залежності зносу  $W$  шпатного ножа (1) і з іонно-плазмовим покриттям  $TiN-Cr_2N$  (2) від часу  $t$  роботи в середовищі щебеню розміром частинок 10 мм

Одночасно можна відзначити, що знос фрагментів ножів автогрейдера в значній мірі залежить від розміру абразивних частинок і їх твердості.

До того ж, в процесі випробувань було відмічено, що кварцові зерна змінюються в розмірі значно, що пояснюється відносно великою твердістю частинок кварцу. При цьому відбувається перемішування і опускання більш дрібних зерен кварцу на дно завантажувального бункера лабораторної установки. Це пояснюється тим, що великі зерна кварцу при зіткненні один з одним схильні утворювати осередки відносно великих розмірів, які і служать локальними областями провалювання більш дрібних абразивних кварцових частинок на дно завантажувального бункера. В результаті такого процесу фрагмент ножа контактує з новими більш великими абразивними частинками.

### Висновок

Покриття MoN і TiN зменшують знос досліджуваних зразків (роликів на машині тертя СМЦ-2) в порівнянні з загартовуванням СВЧ в 1,3 - 1,5 рази, а покриття TiN-Cr<sub>2</sub>N – в 2,0 рази. Таким чином, ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N є найкращим з точки зору зниження зносу.

При випробуваннях фрагментів реальних ножів з сталі 65Г, загартованої СВЧ, встановлено, що у процесі тертя їх в абразивному середовищі знос ножа ЗТМ в залежності від часу його роботи носить лінійний характер і при нанесенні ІПП TiN-Cr<sub>2</sub>N зменшується у 1,7 разів порівняно зі штатним ножом. При цьому відбувається інтенсивне закруглення (затуплення) різальної частини ножа.

### Література

1. Д'яченко С.С. Новий аспект використання іонно-плазмової обробки / С.С. Дяченко, І.В. Пономаренко // *Металознавство та обробка металів*. – №3. – 2009. – С. 53-56.
2. Рижков Ю.В. Підвищення зносо- і корозійної стійкості деталей об'ємного гідроприводу нанесенням іонно-плазмових покриттів : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.02.01 «Матеріалознавство» / Ю. В. Рижков. – Дніпропетровськ, 2010. – 19 с.
3. Д'яченко С.С. Влияние нанокристаллических покрытий на свойства изделий из конструкционной стали / С.С. Дьяченко, И.В. Пономаренко, И.В. Дощечкина // *Современное материаловедение : достижения и проблемы: междунар. Конф. 26-30 сентября 2005 г. : тезисы докл.* – К., 2005. – С. 665-666.
4. Д'яченко С.С. Іонно-плазмова обробка як фактор підвищення конструкційної міцності сталевих виробів / С.С. Дяченко, І.В. Пономаренко // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2009. – №1. – С. 71-77.
5. Роик Т.А. Повышение износо- и коррозионной стойкости деталей объемного гидропривода нанесением ионно-плазменных покрытий: монография / Т.А. Роик, Д.Б. Глушкова, Ю.В. Рыжков. – Харьков: 2012. – 112 с.
6. Применение плазменных покрытий для повышения эксплуатационных характеристик деталей гидротрансмиссий / В.А. Карпенко, Д.Б. Глушкова, Г.А. Аврунин, Ю.В. Рыжков // *Автомобильный транспорт: сборник научных статей*. – 2008. – №23. – С. 116–119.
7. Современная технология воздушно-плазменного напыления износостойких покрытий / [Гладков В.Ю., Карцев С.В., Кравченко И.Н., Афонин Н.В.] // *Строительные и дорожные машины*. – 2003. – №5. – С. 30-34.

Поступила в редакцію 26.03.2015

Ventsel Ye. S., Shchukin A.V. **Increasing the wear resistance of earthmovers knives.**

The method and results of performance tests grader blades exposed hardened by high frequency and sputter TiN-Cr<sub>2</sub>N. Recently, the ion-plasma coating has been inflicted on surface blades, initially exposed hardened by high frequency.

Choice composition for ion-plasma pavement for nozhey graders byly provedeny laboratory equipment usprytauuya by friction machine SMC-2. The wear test samples were subjected to ion-plasma coatings such as MoN, TiN and TiN-Cr<sub>2</sub>N.

As a result of laboratory tests was found to ion-plasma coating TiN-Cr<sub>2</sub>N improves the wear resistance of the cutting elements graders about 2.0 times. Furthermore, the wear of the samples with the ion plasma coating TiN and MoN at all loads is less than the samples after quenching by high frequency but higher than when using the coating TiN-Cr<sub>2</sub>N.

In actual tests of blades fragments with 65G steel, hardened by high frequency, using the experimental setup shown that during operation in the abrasive environment earthmovers blade wear versus time its operation is linear and coating TiN-Cr<sub>2</sub>N decreases in 1.7 times comparison with the standard knife.

**Keywords:** knife, wear, ion-plasma coating, block, roller, friction machine.

### References

1. D'jachenko S.S., Ponomarenko I.V. Novij aspekt vikoristannja ionno-plazmovoy obrobki. Metaloznavstvo ta obrobka metaliv, No 3, 2009, pp. 53–56.
2. Rizhkov Ju.V. Pidvishhennja znoso- i korozijnoy stijkosti detalej ob'emnogo gidroprivodu nanesennjam ionno-plazmovih pokryttiv : avtoref. ds. na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk : spec. 05.02.01 «Materialoznavstvo» .Dnipropetrovs'k, 2010, 19 p.
3. D'jachenko S.S., Ponomarenko I.V., Doshhechkina I.V. Vlijanie nanokristalicheskikh pokrytij na svojstva izdelij iz konstrukcionnoj stali. Sovremennoe materialovedenie : dostizhenija i problemy: mezhdunar. konf. 26-30 sentjabrja 2005 g. : tezisy dokl. Kiev, 2005, pp. 665–666.
4. D'jachenko S.S., Ponomarenko I.V. Ionno-plazmova obrobka jak faktor pidvishhennja konstrukcijnoy micnosti stalevih virobiv. Novi materiali i tehnologiy v metalurgiy ta mashinobuduvanni, 2009, No 1, pp. 71–77.
5. Roik T.A., Glushkova D.B., Ryzhkov Ju.V. Povyshenie iznoso- i korrozionnoj stojkosti detalej ob'emnogo gidroprivoda naneseniem ionno-plazmennyh pokrytij: monografija. Har'kov: 2012, 112 p.
6. Karpenko V.A., Glushkova D.B., Avrunin G.A. Ryzhkov., Ju.V. Primenenie plazmennyh pokrytij dlja povyshenija jekspluacionnyh harakteristik detalej gidroperedach. Avtomobil'nyj transport: sbornik nauchnyh statej. 2008, No 23, pp. 116–119.
7. Gladkov V.Ju., Karcev S.V., Kravchenko I.N., Afonin N.V. Sovremennaja tehnologija vozdushno-plazmennogo napylenija iznosostojkikh pokrytij. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2003, No 5, pp. 30–34.