УДК 621.793

О.В. Радько[1], О.Ю. Кумуржи[2], В.В. Жигінас[1], О.І. Кремешний[3]

[1] *Національний авіаційний університет, Київ*
[2] *Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ*
[3] *Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

АБРАЗИВНА СТІЙКІСТЬ СТАЛІ 46Х13 ПІСЛЯ ЗМІЦНЕННЯ МЕТОДОМ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ІОННО-ПЛАЗМОВОГО АЗОТУВАННЯ

Досліджено абразивну стійкість сталі 46Х13, зміцненої іонно-плазмовим термоциклічним азотуванням (ІПТА). Показано, що застосування методу ІПТА дозволяє отримати зміцнені поверхні, які володіють комплексом специфічних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей. Отримані дані щодо зносостійкості зміцнених шарів в умовах абразивного зношування свідчать про перспективність та доцільність застосування цього методу для поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів.

Ключові слова: *абразивна стійкість надійність, конструкційний елемент, сталь 46Х13.*

Вступ і стан проблеми

Підвищення надійності конструкційних елементів машин і механізмів є сьогодні важливим завданням. Одним з напрямків його вирішення є використання досягнень в області дифузійного зміцнення поверхневих шарів, які забезпечуються високоякісними технологіями і допомагають вирішувати питання забезпечення надійності на етапах створення та ремонту в діапазоні експлуатаційних режимів. Для цієї мети використовується іонне азотування - ефективний метод зміцнюючої обробки деталей з легованих конструкційних сталей: зубчастих вінців, валів, прямозубих, конічних і циліндричних шестерень, муфт, валів-шестерень складної геометричної конфігурації тощо. Однак, в традиційному варіанті технологія іонно-плазмового азотування володіє рядом істотних недоліків: високі питомі потужності споживання електроенергії на 1кг виробу та відносно тривалий цикл процесу.

В Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка розроблена принципово нова технологія ІПТА, яка заснована на наступних академічних розробках: теорія термічної втоми, аномальне масоперенесення при механічному навантаженні й ефект дискретного енерговведення.

 © О.В. Радько, О.Ю. Кумуржи, В.В. Жигінас, О.І. Кремешний

Технологія має такі переваги:

використовується нагрівання тільки поверхневого шару деталі без прогрівання її серцевини. Нагрівання відбувається за рахунок енергії тліючого розряду, тому немає необхідності використовувати печі;

циклічні нагрівання і охолодження деталі створюють термічні напруги в поверхневому шарі, що в 2-3 рази прискорює дифузійні процеси і відповідно скорочується час обробки;

форма і розміри деталі та чистота її поверхні залишаються без змін, тому не потрібна фінішна механічна обробка;

скорочення тривалості обробки, циклічний характер швидкісного дискретного енерговведення і нагрівання тільки поверхневого шару скорочують витрати електроенергії до 10 разів.

Серед різних видів зношування деталей машин і механізмів найбільш поширеним і швидкоплинним є абразивне зношування, при якому руйнування поверхневого шару деталей здійснюється твердими частинками, що знаходяться в різних станах і порізному впливають на матеріал [1 – 3].

Абразивне зношування викликають грунт, зола, пил, що потрапили на поверхню тертя, продукти зносу, особливо викришені частинки твердих структурних складових.

Абразивному зношуванню піддаються деталі гусеничного ходу різної техніки, сільськогосподарських, дорожньо-будівельних, гірських, транспортних, металургійних та інших машин, агрегати та обладнання, виконані з металів, сплавів, композиційних матеріалів, захисних покриттів, полімерів, кераміки [4 – 7]. Поширеність абразивного зношування обумовлена не тільки тим, що багато деталей за характером виконуваних функцій неминуче стикаються з матеріалами, здатними викликати абразивний процес зношування. Абразивний знос пригнічує менш інтенсивні процеси зношування деталей і в тих випадках, коли контакт зі сторонніми твердими частинками не пов'язаний з роботою техніки, а обумовлений забрудненістю середовища. Часто вкрай складно виключити забрудненість твердими частинками навколишнього повітря, води, пально-мастильних матеріалів, різних технологічних середовищ, що контактують з поверхнями тертя деталей машин.

Витрати на відновлення деталей машин в результаті зносу величезні і вони щорічно збільшуються. На симпозіумі, проведеному в США з питання зниження зносу в техніці [6], загальна думка звелося до того, що управління зношуванням є центральною ланкою у вирішенні таких національних проблем, як економія енергії, скорочення витрат матеріалів, забезпечення надійності та безпеки механічних систем. На симпозіумі також зазначалося, що для промисловості США за рахунок ефективного впровадження результатів триботехніки в практику економія може скласти більше 16 млрд. дол.

Проблема забезпечення зносостійкості актуальна й для України, і перш за все, у зв'язку зі значним зносом обладнання та техніки, відсутністю коштів на його відновлення і реконструкцію.

Питанню абразивного зношування різних матеріалів присвячено багато досліджень [1-3, 6-8 та ін.], результати яких показали, що механізм абразивного зношування досить складний. Уявлення про нього, як про просте дряпання металу абразивними частинками, веде до помилкових конструктивних і технологічних рішень у частині вибору матеріалу або покриття і методу зміцнення.

На інтенсивність абразивного зношування великий вплив мають форма, твердість і геометричні розміри абразивних часток, навантаження, швидкість переміщення, фізико-механічні властивості зношуються поверхні, її структурний стан і багато інших чинників. Не будь-які структурні зміни відбиваються на абразивній зносостійкості металу.

Характерно, що для одних металів абразивна зносостійкість після пластичної деформації змінюється, а для інших - не змінюється, що свідчить про двоїстий вплив деформаційних процесів на характер і кінетику абразивного зношування, про що підкреслюється в роботі [8].

Аналіз механізму абразивного зношування свідчить про те, що однозначної відповіді про роль зовнішніх і структурних факторів не існує. Різноманітність цих факторів, а також їх неоднозначний вплив на процеси абразивного зношування ускладнюють розробку універсальних методів захисту від зносу.

Мета роботи – дослідження впливу зміцнення поверхневих шарів сталі 46Х13 методом іонно-плазмового термоциклічного азотування на інтенсивність її абразивного зношування.

Методика досліджень

Для формування дифузійних шарів методом іонно-плазмового термоциклічного азотування використовувалася розроблена в Інституті проблем міцності ім.Г.С. Пісаренка НАН України універсальна установка «ВІПА-1» (рис. 1).

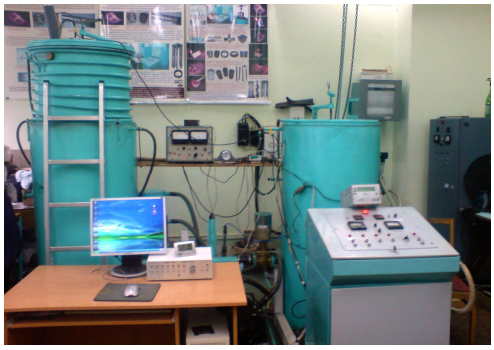

Рис. 1. Загальний вигляд установки «ВІПА-1»

Технологічні параметри формування зміцнених шарів: температура термоциклування - 550 ± 30 ^{0}C, тиск - 50-100 Па, час обробки - 10 годин, співвідношення реакційних газів - 80% Ar + 20% N_2. В якості підкладки використовували зразки зі сталі 46Х13 розміром 30х30 мм і товщиною 10 мм.

Зміцнення поверхонь зразків відбувалося рівномірно по всьому периметру (рис. 2), що повинно забезпечувати рівномірну товщину дифузійного шару.

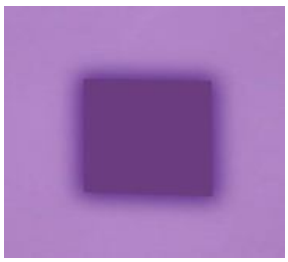

Рис. 2. Зразок у камері установки

Випробування покриттів на зносостійкість проводили на експериментальній установці (рис. 3) [9] відповідно до ГОСТ 23.208-79, який збігається з американським стандартом АСТМА С 6568. Процес тертя моделювався у присутності вільного нежорсткозакріпленого абразиву.

Зразки зношувалися вільним абразивом, який подавався гумовим роликом на поверхню тертя. В якості абразиву використовувався кварцовий пісок (SiO_2) зернистістю 200...250 мкм. Перед випробуванням абразив просушували (вологість не перевищувала 0,16%). Знос заміряли ваговим методом на аналітичних вагах АДВ-200 з точністю до 0,0001 г. До і після випробувань зразки промивали в етиловому спирті, просушували і зважували. Експеримент проводили при швидкості ковзання 0,158 м/с, навантаженні 20 кг (при плечі 272 мм) і шляху тертя 100 м.

Для порівняння на зносостійкість випробовувалися зразки зі сталі 46Х13, як не зміцнені, так і після обробки (загартування, ІПТА, загартування + ІПТА) (рис. 4). В якості абразивних середовищ використовувалися: кварцовий пісок, вода + пісок.

Визначення хімічного складу поверхні зразків проводилося на основі методики кількісного мікрорентгеноспектрального аналізу з використанням растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-101А.

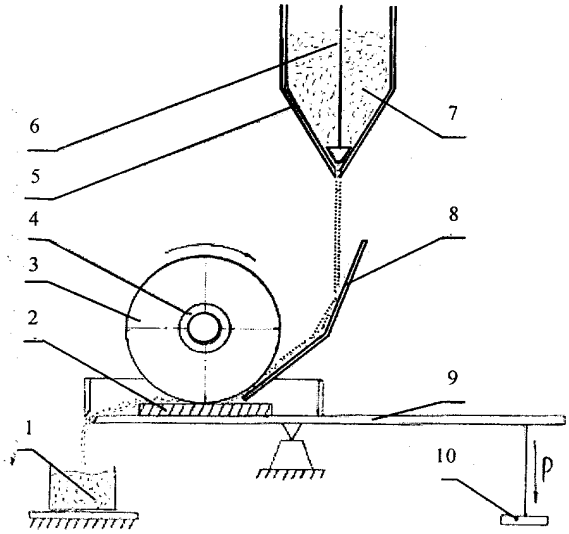

Рис. 3. Зовнішній вигляд і схема установки на абразивне зношування:
1 - бункер для відходів абразиву; 2 - зразок; 3 - гумовий ролик; 4 - головка для рулону;
5 - бункер для вільного абразиву; 6 - важіль для регулювання швидкості подачі абразиву;
7 - вільний абразив; 8 - жолоб для подачі абразиву; 9 - важіль для регулювання натиску; 10 – вантаж

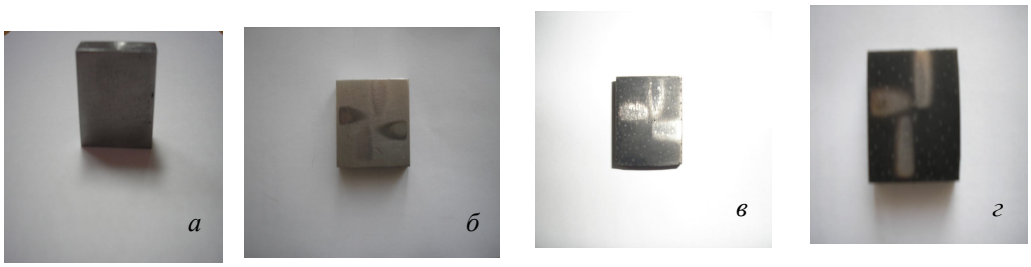

Рис. 4. Загальний вигляд зразка № 1 до випробувань (а)
і зразків № 1, 2, 3 після випробувань (б, в, г)

Результати досліджень

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що найбільший знос спостерігається у необроблених зразків (табл. 1).

На металевих поверхнях, що знаходяться в трибологічному контакті чітко видно три зони: зона з вихідним матеріалом, перехідна зона і зона тертя (рис. 5).

Хімічний аналіз в зоні тертя показав наявність в них окрім елементів, що входять до складу вихідного матеріалу, кисню, азоту та кремнію (рис. 6). Наявність кисню можна пояснити утворенням а процесі тертя оксидних плівок, азоту – дифузією азоту з утворенням нітридів в процесі азотування, кремнію - впливом абразивного середовища – піску.

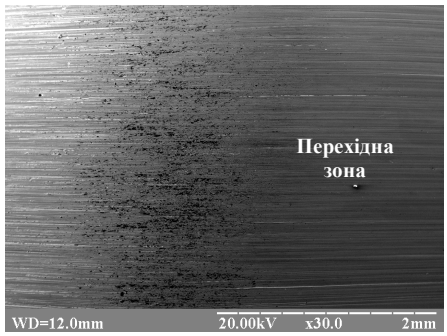

Рис. 5. Поверхня зразка № 1 після випробувань

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

№ обр.	Обробка	Мікротвердість, HRC	Ваговий знос, г	Середовище
1	-	22	0,0015	пісок
1	-	22	0,0012	вода + пісок
2	Загартування	40	0,0009	пісок
2	Загартування	40	0,0007	вода + пісок
3	ІПТА	43	0,0008	пісок
3	ІПТА	43	0,0007	пісок
4	Загартування + ІПТА	47	0,0006	вода + пісок
4	Загартування а + ІПТА	47	0,0005	вода + пісок

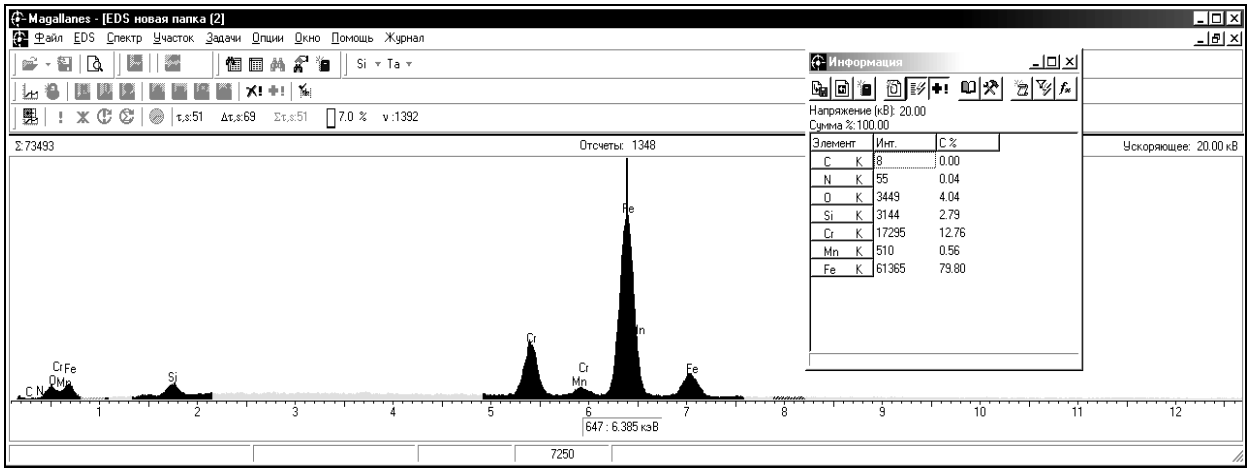

Рис. 6. Результати хімічного аналізу зразка № 1

За результатами досліджень побудовані графіки (рис. 7, 8), з аналізу яких можна зробити такі висновки:

1. Загартування підвищує зносостійкість сталі 46Х13:

– у піску – в 1,7 раз;

– у воді + пісок – в 1,7 раз;

2. Іонно-плазмове термоциклічне азотування підвищує зносостійкість сталі 46Х13:

– у піску – в 1,9 раз;

– у воді + пісок – в 1,7 раз.

3. Попереднє загартування і подальше іонно-плазмове термоциклічне азотування підвищують зносостійкість сталі 46Х13:

– у піску – в 2,5 раз;

– у воді + пісок – в 2,4 раз.

4. Найвищою зносостійкістю володіють зразки після попереднього загартування та наступної обробки ІПТА.

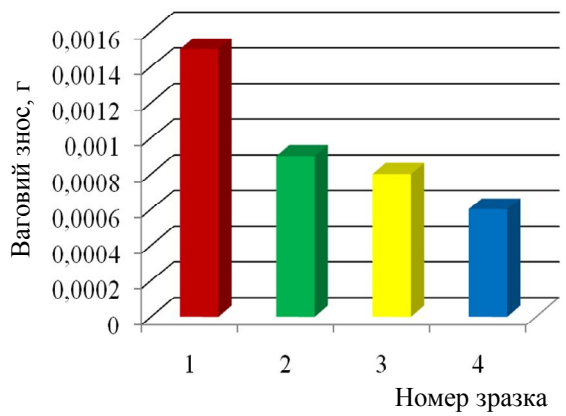

Рис. 7. Ваговий знос зразків в піску:
1 - без зміцнення; 2 - загартування; 3 - ІПТА;
4 - загартування + ІПТА

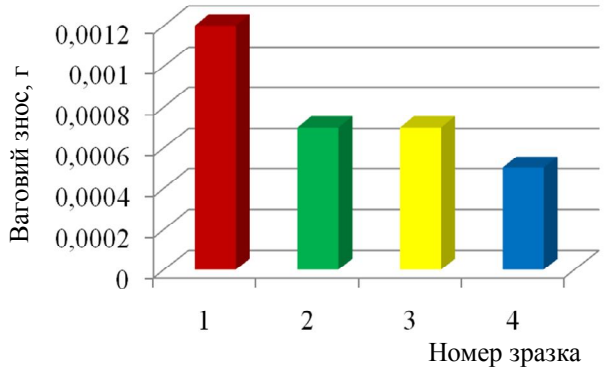

Рис. 8. Ваговий знос зразків у середовищі
вода + пісок: 1 - без зміцнення; 2 - загартування;
3 - ІПТА; 4 - загартування + ІПТА

Висновки

Таким чином, зразки, зміцнені запропонованою технологією ІПТА, показали підвищену зносостійкість (до 2,5 разу) в порівнянні з необробленими. Проведені дослідження показали перспективність і доцільність застосування іонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення надійності деталей машин і механізмів, що працюють в умовах абразивного зношування.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію параметрів технологічного процесу формування дифузійних іонноазотованих шарів для підвищення їх триботехнічних характеристик у різних абразивних середовищах.

Список літератури

1. *Хрущев М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 251 с.*
2. *Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изашиванию / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1976. – 270 с.*
3. *Гаркунов Д.Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов. Изд-во 2 – е / Д.Н. Гаркунов, А.А. Поляков. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.*
4. *Локай В.И. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов / В.И. Локай, М.К. Максутова, В.А. Стрункин. – М.: Машиностроение, 1979. – 350 с.*
5. *Ткачев В.Н. Резервы решения проблемы абразивного износа / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 2002. – 59 с.*
6. *Баходур С. Экономическое значение износа материалов в современном обществе / С. Баходур. – М.: Проблемы трения и смазки, 1978. – №2. – С. 1 – 4.*
7. *Львов П. Н. Абразивный износ и защита от него / П. Н. Львов. – М.: ВНИИстройдормаш, 1959. – 220 с.*
8. *Клейс И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клейс, Х.Х. Уэмыйс. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.*
9. *Кудрин А.П. Исследование износостойкости упрочненной углеродистой стали в условиях абразивного изнашивания / А.П. Кудрин, В.Ф. Лабунец, О.А. Вишневский. – К.: Вісник НАУ, 2003. – № 2. – С. 111 – 114.*

Надійшла до редколегії 28.12.2012

Рецензент: канд техн.. наук, проф. Ю.І. Миргород, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АБРАЗИВНАЯ СТОЙКОСТЬ СТАЛИ 46Х13 ПОСЛЕ УКРЕПЛЕНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

О.В. Радько, А.Ю. Кумуржи, В.В. Жигинас, А.И. Кремешный

Исследовано абразивную стойкость стали 46Х13, укрепленной ионно-плазменным термоциклическим азотированием (ИПТА). Показано, что применение метода ИПТА позволяет получить укрепленные поверхности, которые владеют комплексом специфических физико-механических и эксплуатационных свойств. Полученные данные относительно износостойкости укрепленных слоев в условиях абразивного изнашивания свидетельствуют о перспективности и целесообразности применения этого метода для поверхностного укрепления деталей машин и механизмов.

Ключевые слова: *абразивная стойкость надежность, конструкционный элемент, сталь 46Х13.*

ABRASIVE FIRMNESS STEEL 46X13 BECAME AFTER STRENGTHENING OF THERMAL-CYCLE ION-PLASMA NITRIDING METHOD

O.B. Rad'ko, O.Yu. Kumurzhi, V.V. Zhiginas, O.I. Kremeshnyy

Abrasive firmness is investigational 46X13 became, fixed the ion-plasma thermal-cycle nitriding (IPTA). It is rotined that application of method of IPTA allows to get the fixed surfaces which own the complex of specific physic-mechanical and operating properties. Got data in relation to wearproofness of the fixed layers in the conditions of abrasive wear testify to perspective and expedience of application of this method for the superficial strengthening of details of machines and mechanisms.

Keywords: *abrasive firmness is reliability, construction element, steel46X13.*