

3. Robin, F. The wear of steels by abrasives / F. Robin // *Revue de Metallurgie*. – 1991. – Vol. 8. – P. 47–84
4. Гулаков, С. В. Зміцнення деталей машин та інструменту наплавленням робочого шару з регламентованим розподілом властивостей / С. В. Гулаков, І. С. Псарьова, О. О. Лаврентік, С. В. Щербаков // *Машинознавство*. – 2001. – №7. – С. 45 – 48.
5. Чигарев, В. В. Выбор экономнолегированных наплавочных материалов для различных условий ударно-абразивного воздействия / В. В. Чигарев, В. Л. Малинов // *Автоматическая сварка* – 2000. – №5. – С. 58-60.
6. Кассова, Е. В. Поведение порошкообразного сердечника в процессе формирования наплавленного слоя при электроконтактной наплавке / Е. В. Кассова // *Проблемы та перспективи розвитку підйомно-транспортних, будівельних та дорожніх машин. Матер. наук. семінару – Краматорськ: ДДМА, 2007. – С. 50-51.*
7. Прохоров, Н. Н. Формирование поля максимальных температур при электроконтактной приварке режущей кромки инструмента / Н. Н. Прохоров, Л. А. Латыпов, А. Н. Прохоров // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2002. – №6. – С. 14-18.
8. Прохоров, Н. Н. Фазовые превращения при упрочнении или восстановлении режущей кромки почвообрабатывающего инструмента электроконтактной приваркой твердого слоя / Н. Н. Прохоров, Н. Н. Воронин, Р. А. Латыпов // *Технология металлов*. – 2003. – №6. – С. 13-15.
9. Бережная, Е. В. Разработка микроконтроллерной системы мониторинга стабильности процесса электроконтактной наплавки / Е. В. Бережная // *Электрон. вестн. ДГМА, 2009. – №2 (5Е). – С. 22-26.*
10. Чигарев, В. В. Автоматизированная система управления качеством процесса электроконтактной наплавки / В. В. Чигарев, Е. В. Бережная // *Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития: I международ. науч.-техн. конф.* – Краматорск: ДДМА, 2009. – С.74-75.

Поступила в редакцию 17.09.2013

В. М. Остапчук, д-р техн. наук

*Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, Україна
e-mail: fedcirina@yandex.ru*

УДК 620.1

ВИБІР МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ключові слова: *плунжерні та золотникові пари, катод, прецизійні пари, конденсація при іонному бомбардуванні (КІБ), знос.*

Анотація. *Надані дослідження руйнування деталей прецизійних пар тертя та проведений вибір методів підвищення їх зносостійкості. Запропонований спосіб одержання покриттів з заданими експлуатаційними властивостями. Практично реалізувати цей спосіб можна, використавши катод з міді, який містить 50 % включення дисульфиду молибдену, виготовлений пресуванням з порошкової суміші з наступною термічною обробкою.*

Вступ

Усі несправності в роботі золотникових та плунжерних пар гідравлічних і паливних агрегатів можна розділити на два основні види:

- 1) що викликаються підвищенням тертя в парах;
- 2) пов'язані зі зміною форми і розмірів деталей внаслідок їх зносу.

Підвищення тертя в золотникових і плунжерних парах має раптовий характер і призводить до тимчасового зависання або заклинювання золотника (плунжера) в гільзі (гнізді ротора).

У розподільних пристроях підвищене тертя тягне за собою запізнення або відмову в роботі гідроприводу. У слідкуючих гідроприводах, що широко застосовуються у транспортних машинах, порушення стабільності тертя в золотниковій парі викликає несправну роботу відповідної системи керування. Замість плавного переміщення штока гідроциліндра і пов'язаного з ним керованого органа машини може відбуватися затяжеління керування, що викликає ривки в переміщеннях штока. Підвищення тертя в розподільному золотниковому пристрої гідропідсилювача порушує принцип стеження за зміщенням золотника і призводить до сіпання і мимовільного водіння ручки керування машиною. У таких випадках при русі виконавчого штока розподільний золотник не перекриває вікна підведення робочої рідини в силовий циліндр гідропідсилювача. Тоді виконавчий шток через системи качалок і тяг зворотного зв'язку веде за собою ручку керування, поки оператор, впливаючи на ручку, не подолає сили тертя в золотниковій парі. Оскільки при цьому переміщення золотника відбувається ривком і зафіксувати його в нейтральному положенні не вдається, то порушується плавність роботи виконавчого органу системи керування.

У деяких випадках підвищення тертя в золотниковому регулюючому пристрої може бути настільки значним, що призводить до заклинювання ручки керування.

© В. М. Остапчук, 2013

Ефективним способом підвищення опору деталей золотникових регулюючих пристроїв схоплюванню є застосування для їх виготовлення високотвердих металів і інтерметалідних сплавів.

Аналіз досліджень та публікацій

Важливою умовою надійності деталей прецизійних пар є висока точність їх виготовлення. Так, при виготовленні плунжерних пар дизельної паливної апаратури повинні бути відповідно до жорстких технічних вимог точно витримані їх розміри, зазори і чистота поверхні, оскільки це визначає рівномірність подачі палива в циліндри двигуна [1]. Зазначеними вимогами передбачається точність геометричних форм сполучених поверхонь плунжера і гільзи в межах 0,2-1,0 мкм, точність діаметральні розмірів у межах 0,01-0,02 мм, діаметральний зазор готових пар в межах 1-3 мкм, шорсткість поверхонь, що труться, повинна відповідати 11-12-му класу чистоти. Забезпечення цих вимог досягається застосуванням операції доведення вільним абразивом [1, 2].

Встановлено, що плунжерні пари, у яких точність геометричної форми деталей при виготовленні виходить нижче заданої технічними умовами, внаслідок збільшення зазору втрачають герметичність і виходять з ладу значно раніше гарантійного терміну служби.

Необхідною умовою високої надійності роботи прецизійних пар паливних і гідравлічних агрегатів є ретельне очищення внутрішніх порожнин агрегатів і трубопроводів від різного роду забруднень, що потрапляють в процесі їх виготовлення і зборки. Такими забрудненнями найчастіше бувають: металева стружка, залишки притиральних паст, частки формувальної землі і тверді частинки атмосферного пилу.

Одним із джерел забруднення палива та робочої рідини є зношування деталей, що труться, сполучень паливно і гідравлічних агрегатів. Тому підвищення зносостійкості деталей агрегатів безпосереднього впливає на надійність золотникових і плунжерних пар.

Отже, метою даного дослідження є підвищення зносостійкості прецизійних пар тертя шляхом вибору методу підвищення їх експлуатаційних властивостей.

На цей час при виготовленні деталей агрегатів широкого поширення набули алюмінієві сплави. Однак не завжди враховується низька зносостійкість деталей, які виготовлені з цих сплавів без застосування спеціальних покриттів. Інтенсивно зношуються поверхні тертя корпусів різного роду клапанів і силових циліндрів (рис. 1) [3].

Схильні задиру і значного зносу поверхні крильчаток та дифузорів при їх взаємному торканні у відцентрових насосах. Існують неодноразові випадки інтенсивного зносу чечевицеподібних фільтруючих елементів фільтрів паливних і гідравлічних систем [2, 4].

Таким чином, фільтри, призначені для підвищення чистоти рідини, в умовах експлуатації самі можуть стати джерелами забруднення.

При цьому зносу зазнаючи внутрішні обідки фільтруючих елементів за місцем торкання стрижнів каркаса, розташованих у порожнині, в яку надходить рідина після фільтрації (рис. 2).

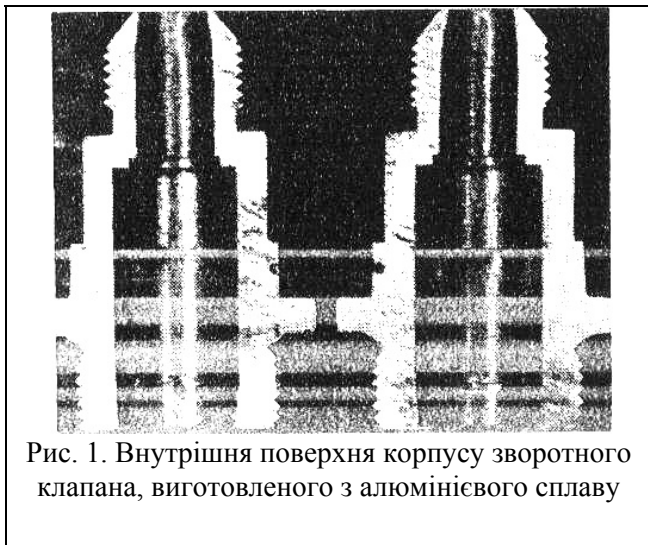


Рис. 1. Внутрішня поверхня корпусу зворотного клапана, виготовленого з алюмінієвого сплаву

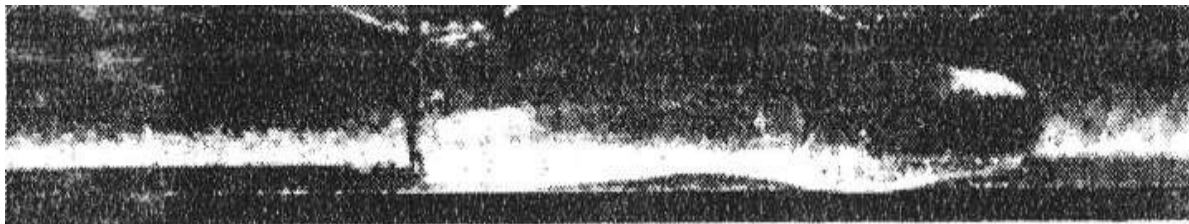


Рис. 2. Ділянка поверхні внутрішнього обідка фільтруючого елемента зі слідами сильного зносу, ($\times 100$)

Тому продукти зносу потрапляють в чисту рідину. Зношування зазначених фільтруючих елементів відбувається в результаті тертя їх про направляючі стрижні при відносних зсувах, що викликаються вібрацією.

Слід особливо підкреслити значення контролю, за якістю виробництва деталей, який починається з контролю кондиційності застосовуваного матеріалу. Важливе значення має контроль за якістю виготовлення деталей прецизійних пар і, в першу чергу, за відповідністю технічних умов розмірів, конфігурації і взаємного розташування деталей, чистоти і твердості їх поверхонь, структури матеріалу. Треба мати на увазі, що чим більше відхилення параметрів, що характеризують якість виготовлення деталей, тим більше вірогідність появи відмов, оскільки підвищується значення випадкових факторів, що впливають на надійність відповідних пристроїв.

Принципова відмінність способу нанесення покриттів з MoS_2 від раніше існуючих, полягає у відмові від плазмохімічного синтезу.

У теоретичному плані плазмохімічний синтез молекули MoS_2 з молібденового випарника в середовищі сірководню викликає труднощі практичної його реалізації з надійністю, необхідною для промислового впровадження. В отриманому таким чином конденсаті містяться S; MoS ; Mo ; MoO_2 ; FeS і дуже незначні включення MoS_2 . Крім того, застосовуваний при цьому сірководень токсичний і вкрай незручний з точки зору вакуумної гігієни.

У цьому способі в плазмотвірних середовищах безпосередньо з еродованого катода вносяться вже сформовані молекули даної речовини. Практично реалізувати цей процес можна, застосувавши катод, металева основа якого в значній мірі насичена молекулами сірки і молібдену. Використовувався катод з міді, який містить 50 % включення дисульфиду молібдену (MoS_2), виготовлений пресуванням з порошкової суміші з послідувачим прогріванням до температури плавлення міді.

При порушенні дугового розряду на такому катоді дисульфід молібдену легко випаровується з його поверхні з достатнім ступенем іонізації і, частково розкладаючись, бере участь у плазмоутворенні. Слід зазначити, що швидкість розпилення сульфиду молібдену значно вище швидкості розпилення міді. Тому в початковій стадії експлуатації катода MoS_2 переважає в складі плазмоутворюючого газу. Для стабілізації співвідношення компонентів у плазмотвірному середовищі необхідно зробити припрацювання катода протягом 1-2 годин.

При експлуатації катодів, виготовлених за запропонованою технологією, у складі плазмоутворюючого газу виникає деяка кількість неконтрольованих домішок, основними з яких є азот і кисень. Це обумовлено тим, що молекули повітря, адсорбовані гранулами порошкової суміші, розчиняються в матеріалі катода в процесі пресування і наступної термообробки.

Усунути зазначені домішки можна, якщо виготовляти катод гарячим пресуванням у вакуумі. Однак таке ускладнення технології виготовлення катодів є недоцільним, тому що зазначені домішки істотно не впливають на антифрикційні властивості покриття. Окисли міді, що виникають у плівці, самі можуть бути пластичними [5], а азот досить інертним до міді і пов'язаного в молекулі MoS_2 молібдену. Навіть великий вміст азоту в плазмоутворюючому газі (до 80 % а. т.) не призводить до істотної зміни складу та властивостей покриття. Крім того, приробітку катода сприяє його дегазації і значно зменшує вміст кисню в плазмотвірному середовищі [5].

Застосування зазначених катодів дозволяє отримати покриття, основними компонентами якого є мідь і дисульфід молібдену. На рівні домішок у плівці покриття присутня вільна сірка, молібден, його окис і нітрид молібдену. Заслужує уваги той факт, що швидкість конденсації сульфиду молібдену сильніше залежить від температури підкладки, ніж швидкість конденсації міді. Це дозволяє направлено впливати на співвідношення основних компонентів у матеріалі плівки в процесі її формування. Так, при температурах 400-500 °C швидкість конденсації MoS_2 нижче швидкості конденсації Cu , і цей елемент буде домінуючим у поверхневому шарі. При підвищенні температури до 600-650 °C переважаючим компонентом буде MoS_2 . При подальшому підвищенні температури підкладки й одночасному підвищенні прискорень напруг, швидкість конденсації основних компонентів падає і стає порівнянною зі швидкістю конденсації Mo і MoN . Все це дозволяє одержувати покриття із заданим розподілом компонентів по їх товщині, властивості яких змінюються від зносостійких до антифрикційних [4].

Дослідження елементного складу поверхневих шарів покриттів показує, що при достатньо великих товщинах покриття (10-15 мкм) елементний склад поверхневого шару практично не залежить від матеріалу підкладки і визначається лише співвідношенням компонентів у плазмоутворюючому газі і режимами його конденсації, а також адсорбційною здатністю самого покриття.

Дифузійний характер віддзеркалення пучка протонів від поверхонь плівок покриттів говорить про високий ступінь їх аморфізації, що типово для методів конденсації при іонному бомбардуванні

(КІБ) [6 – 8]. Концентрація атомів у поверхневому шарі покриття коливається в залежності від його матеріалу від $1,5 \cdot 10^{22}$ до $4,9 \cdot 10^{22}$ ат/см³. Така висока щільність упаковки атомів вигідно відрізняє плівки, отримані методами вакуум-плазмової технології, від покриттів, отриманих іншими способами. Спектрограми зворотного розсіювання протонів від поверхні сталевих виробів, покритих нітридом титану (рис. 3) показують наступний розподіл хімічних елементів (% мас.) у приповерхневому шарі до 3 мкм (табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний склад покриттів з TiN на сталевих деталях (вміст елементів, % мас.)

C	N	O	Ti	Fe	S	Mo
10	29,3	30	24,6	10	0,02	0,08

Розшифровка спектрограм (рис. 3, б) показує, що співвідношення компонентів залишається незмінним за товщиною плівки покриття і порушується тільки на її кордонах.

На зовнішній поверхні покриття існує шар, що відрізняється підвищеною концентрацією азоту і вуглецю і великим вмістом кисню. Товщина шару складає 0,7-0,8 мкм. Низька концентрація вуглецю в тілі плівки покриття і практична відсутність кисню на глибинах до 1 мкм вказує на те, що поверхневий шар має адсорбційну природу і обумовлений електричною активацією поверхні при її іонному бомбардуванні, тому що адсорбційна здатність поверхні деталей пар тертя визначає характер її взаємодії з мастильними матеріалами і впливає на адгезійну складову коефіцієнта тертя [9].

Товщина і щільність адсорбційного шару, а отже, і електрична активність поверхні залежать від режимів осадження покриттів і, в першу чергу, від ступеня іонізації плазмотвірного середовища [10].

Присутність в плівці покриття заліза, вуглецю і незначних домішок сірки вказує на активну взаємодію покриття з матеріалом підкладки, тобто на ефективність процесів радіаційно-стимульованої дифузії та вторинної-іонної імплантації. Домішка молібдену обумовлена розпиленням полум'ям катодного вузла, і при стабільному горінні катодного розряду може зовсім не бути.

Деяке підвищення концентрації заліза

поблизу зовнішньої поверхні покриттів говорить про те, що присутність його атомів в міжмолекулярних проміжках кристалічної решітки TiN енергетично невигідно і в міру росту плівки цей елемент витісняється до її кордонів.

Основними складовими покриттів з нітриду титану на виробках з чавуну є (% мас.) кисень, азот, залізо та титан (табл. 2).

Таблиця 2. Хімічний склад покриттів з TiN на деталях з чавуну (вміст елементів % мас.)

N	O	Ti	Fe
25,6	39,1	22,0	13,3

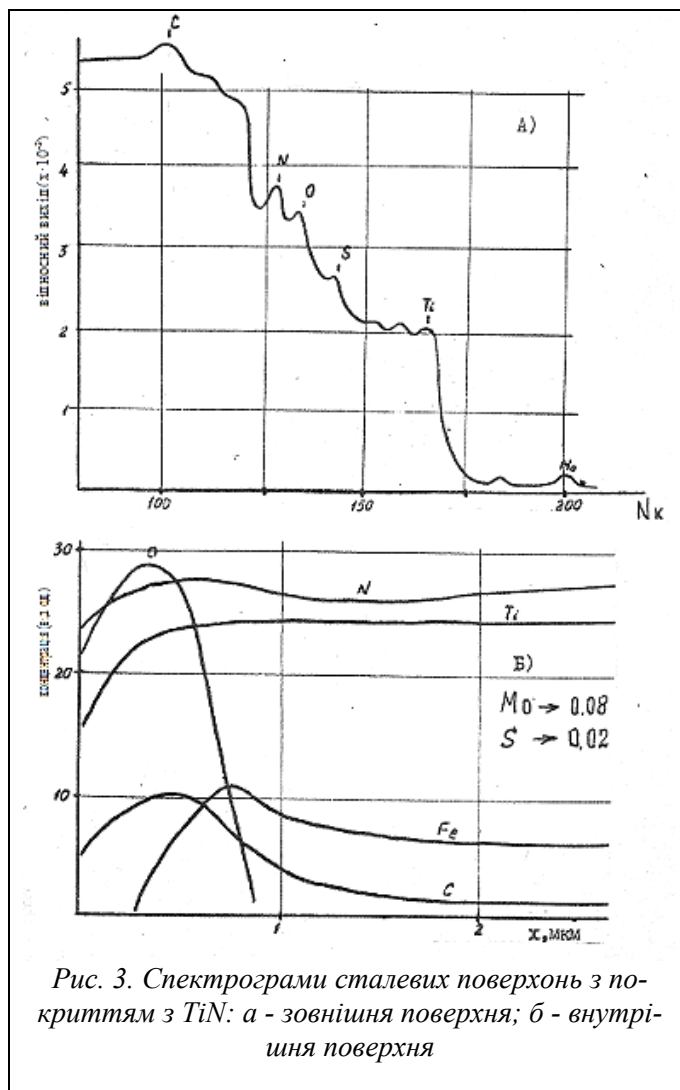


Рис. 3. Спектрограми сталевих поверхонь з покриттям з TiN: а - зовнішня поверхня; б - внутрішня поверхня

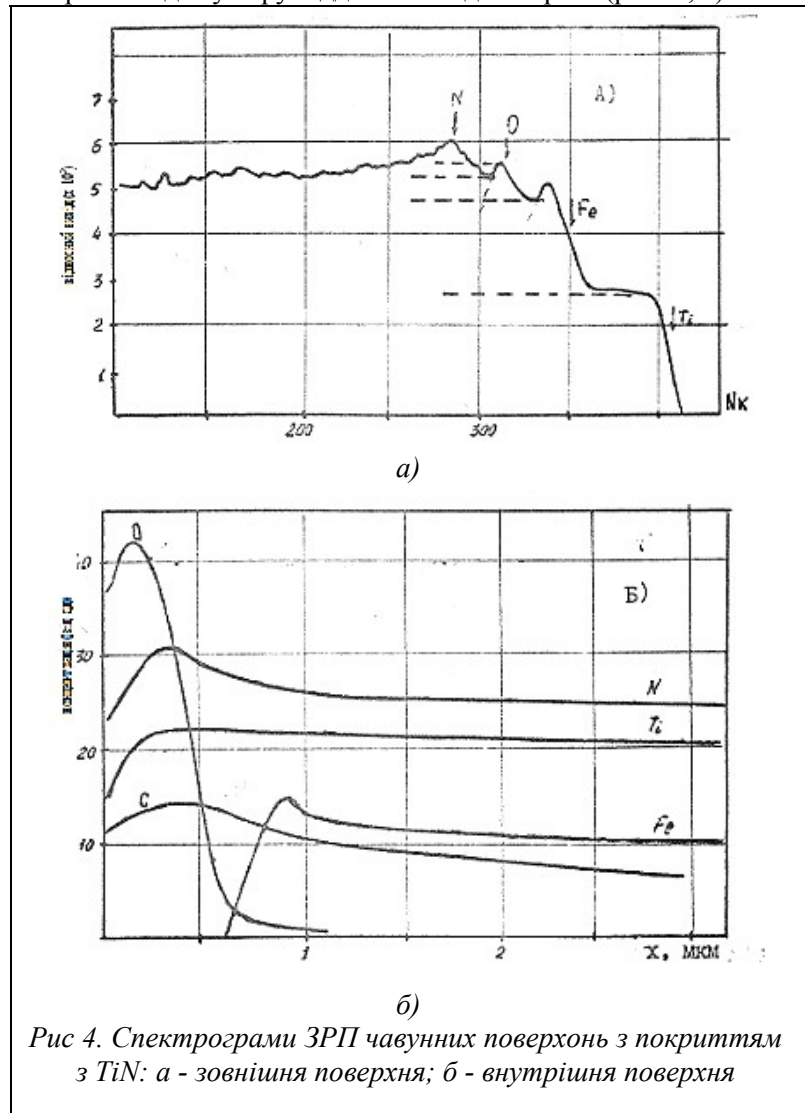
Відсутність у плівці покриття вуглецю обумовлено більш ошадливими режимами нанесення покриттів. Скорочення до мінімуму часу іонного очищення і зниження прискорення напруги під час синтезу покриття призводить до того, що цей елемент не виходить на поверхню плівки.

Зовнішня поверхня плівки покриття з TiN на деталях з чавуну, як і на сталевих деталях, містить велику кількість кисню, концентрація якого різко падає у міру віддалення від поверхні (рис. 4, а).

У приповерхневої області плівки покриття спостерігається підвищення концентрації азоту. Такий розподіл азоту і кисню в приповерхневій зоні покриття свідчить про досить щільний адсорбційний шар на поверхні плівки TiN. Як видно з розшифровки спектрограм, одержаних методом зворотнього розсіювання протонів (рис. 4, б), товщина адсорбційного шару складає 0,5-0,6 мкм. Крива розподілу адсорбованих атомів близька за формою до гауссової кривої, що свідчить про потенційність поля сил взаємодії адсорбованих молекул і про лінійне їх віддалення від кордону поверхні.

Співвідношення змісту титану та азоту в покритті залишається приблизно постійним і лежить в області гомогенності нітриду титану. Таке співвідношення компонентів відповідає мінімальному періоду кристалічної решітки TiN і, отже, максимальній твердості даної сполуки.

Підвищення концентрації заліза поблизу зовнішньої поверхні плівки покриття вказує на те, що, незважаючи на відмінність режимів осадження і механізмів конденсації на етапі коалесценції, динаміка росту плівки з TiN однакова при обробці сталевих і чавунних деталей.



Висновок

Як показали результати досліджень, характер руйнування деталей прецизійних пар тертя відбувається через передчасний знос. Проведено вибір відомих методів підвищення зносостійкості прецизійних пар тертя нанесенням покриттів з заданими експлуатаційними властивостями. Запропоновано вакуум-плазмовий метод нанесення покриття з матеріалів, які раніше не застосовувалися. Для покриттів, сформованих вакуум-плазмовим методом, характерні висока щільність установки атомів і висока ступінь амортизації матеріалу плівки.

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на використанні запропонованої технології для відновлення зношених поверхонь прецизійних пар тертя.

Література

1. Лозовский, В. Н. Надежность и долговечность золотниковых и плунжерных пар / В. И. Лозовский М.: Машиностроение – 1979. – 135 с.
2. Антипов, В. В. Износ плунжерных пар и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей / В. В. Антипов // М.: Машиностроение – 1985. – 127 с.
3. Бахтиаров, Н. И. Производство и эксплуатация прецизионных пар / Н. И. Бахтиаров, В. Е. Логинов // М.: Машиностроение – 1979. – 203 с.

4. Толлок, В. Т. Разработка и внедрение новых методов вакуум-плазменной технологии высоких энергий / В. Т. Толлок, В. Г. Падалка // Изв. АН СССР. – 1972. – №4. – С. 40-41.
5. Бородин, И. Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями / И. Н. Бородин // М.: Машиностроение –1982. – 140 с.
6. Котов, О. К. Поверхностное упрочнение деталей машин химико-термическими методами / О. К. Котов // М.: Машиностроение –1969. – 344 с.
7. Кузнецов, В. Д. Фізико-хімічні основи створення покриттів [Текст] : Навчальний посібник / В. Д. Кузнецов, В. М. Пашенко – К.: НМЦ ВО, 1999. – 176 с.
8. Тарельник, В. Б. Комбинированные технологии электроэрозионного легирования / В. Б. Тарельник // К.: Техніка – 1977. – 127 с.
9. Лабунец, В. Ф. Применение композиционных покрытий для повышения долговечности машин и инструмента / В. Ф. Лабунец, М. В. Киндрачук, В. Н. Меркулов // К.: УкрНИИТИ –1986. – 44 с.
10. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов // М.: Металлургия –1985. – 256 с.

Поступила в редакцию 01.09.13

К. О. Костик, канд. техн. наук

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
e-mail: eklitus@yandex.ru

УДК 621.785.53

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ МЕТОДОМ НІТРОЦЕМЕНТАЦІЇ В МАКРОДИСПЕРСНІЙ СУМІШІ

Ключові слова: нітроцементация, сталь, глибина дифузійного шару, мікротвердість поверхні, дифузія.

Анотація. Досліджено вплив технологічних параметрів низькотемпературної нітроцементации в карбо- та азотовмісному макродисперсному порошку на зміцнення поверхневого шару сталі 40Х. Визначено оптимальні температура та тривалість обробки. Розраховані коефіцієнти дифузії азоту в сталі для запропонованого методу насичення.

Вступ

Енергетичне машинобудування – це галузь машинобудування, що виробляє первинні двигуни і пов'язані з ними апарати, пристрої для вироблення різних енергоносіїв (водяна пара, газ та ін.), що є робочими тілами теплових двигунів. Основна продукція енергетичного машинобудування, така, як парові, гідравлічні і газові турбіни, устаткування для атомних і геотермальних електростанцій, парогазотурбінні установки та ін., працює в жорстких умовах. До матеріалу деталей висувають ряд вимог: висока зносостійкість, жароміцність, жаростійкість, корозійна стійкість. Існує два шляхи вирішення цього питання – використання дорогих високолегованих сплавів або використання дешевих сталей з додатковою зміцнюючою обробкою деталей. Однією з таких є хіміко-термічна обробка, яка підвищує твердість, зносостійкість, кавітаційну та корозійну стійкість і створює на поверхні сприятливі залишкові напруження тиску, що, в свою чергу, збільшує надійність і довговічність деталей енергетичного машинобудування.

Застосування процесу нітроцементации спрямоване на зміцнення різноманітних сталей і сплавів, деталей машин та інструментів, що експлуатуються за різних умов. Хіміко-термічна обробка має багато технологічних варіантів, і вибір того чи іншого процесу визначається технологічністю, можливістю регулювання будови утворюваного шару, швидкістю насичення поверхні, часом підготовчих робіт, рівнем автоматизації, економічністю, дотриманням вимог з охорони праці та навколишнього середовища.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Нітроцементация – це насичення поверхні виробу одночасно азотом і вуглецем у газовому середовищі. Цей процес є різновидом ціанування, яке відбувається в розплавлених солях, що містять групу CN, при температурах 820–860 °С (середньотемпературне ціанування) або 930–960 °С (високотемпературне ціанування) [1 – 3].

© К. О. Костик, 2013