

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗАХИСНОЇ ВТУЛКИ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ІЗ СІРОГО ЧАВУНУ ХІМІКО-ТЕРМІЧНИМ ОБРОБЛЕННЯМ

Лалазарова Н. О.¹, Афанасьєва О. В.², Реброва О. М.³, Вознюк О. І.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний університет радіоелектроніки

³Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація. Слабкою ланкою, що знижує строк експлуатації відцентрових насосів, є вузол, який містить ущільнення та захисні втулки. Для підвищення зносостійкості поверхневого шару тонкостінних втулок із сірого чавуну запропоновано використовувати низькотемпературний метод хіміко-термічного оброблення – сульфоціанування. Воно забезпечує утворення багатшарового покриття й підвищення зносостійкості чавуну.

Ключові слова: сірий чавун, хіміко-термічне оброблення, сульфоціанування, зносостійкість.

Вступ

Відцентрові насоси – це високопродуктивне обладнання для перекачування рідин різного складу і призначення: холодної і гарячої води, пластової рідини на нафтових родовищах, морської води в системах пожежогасіння морських портових споруд тощо. Слабкою ланкою, що знижує строк експлуатації насосів, є ділянка яка містить ущільнення та захисні втулки, що мають захищати вал ротора від зношення та корозійного впливу рідини. Ці втулки традиційно виготовляють із чавуну. Виливки мають невелику товщину і невеликий термін придатності через інтенсивне зношення поверхні втулки на ділянці, де вона контактує з ущільненням [1].

Аналіз публікацій

Базовий вузол насоса – ротор. Основою ротора є вал, на який насаджені всі обертові деталі насоса. Вал як найбільш відповідальна деталь ротора потребує захисту від зношення. У конструкції відцентрових насосів для цього використовують втулки. Існує безліч втулок, що відрізняються призначенням та конструктивними ознаками. Найбільш функціональною є втулка в зоні кінцевих ущільнень насоса. Захисні втулки зазвичай обладнують на вал за рухомою посадкою. У разі м'яких сальникових ущільненнях втулки здійснюють функцію попередження зношення вала набиттям. Такі втулки містять гладку циліндричну поверхню, що має шорсткість 1,25–0,63 Ra. Для забезпечення зносостійкості втулок їхня робоча поверхня повинна мати високу твердість. Захисні втулки виготовляють із сірого чавуну з пластинчастим графітом [2]. Захисна втулка – тонкостінна де-

таль, тому поверхнєве зміцнення не має викликати короблення. У роботі [3] для поверхневого зміцнення деталей із сірого чавуну використовували гартування струмами високої частоти, що дозволило збільшити зносостійкість у 2,3 раза. Для гартування СВЧ є обмеження: чавун повинен мати перлітну структуру, а графіт повинен міститися як дрібні домішки [4]. Ефективним методом поверхневого зміцнення є різноманітні види хіміко-термічного оброблення – азотування, нітроцементация, сульфоціанування, силіціювання, алітування, хромування тощо.

Процес азотування чавуну пропонують для деталей, які під час експлуатації працюють на зношення в умовах невисокого нагрівання й корозії, наприклад для гільз циліндрів, поршневих кілець тощо. Його недоліком є велика тривалість [5]. Силіціюванням отримують твердий і крихкий шар силіцидів заліза, що підвищує стійкість до абразивного зношення в 2,5 раза [6]. Традиційне дифузійне хромування не застосовується, оскільки високий вміст вуглецю в чавуні не дозволяє хрому через утворення карбідів потрапляти на глибину, більшу ніж 0,02–0,04 мм. Застосування електролітичного хромування – складний і досить коштовний процес, який дозволяє наносити покриття, товщиною до 0,05–0,06 мм, а в ремонтному виробництві товщина покриття досягає 0,2–0,5 мм [7].

Сульфоціанування містить сумісне насичення поверхні виробів вуглецем, азотом та сіркою. Спільний вплив цих елементів забезпечує високі протизадирні властивості та зносостійкість поверхні виробу. Сульфоціанування здійснюють у рідких та газових середовищах за температури 560–580 °С

[8, 9]. Цей метод використовують з метою збільшення довговічності сталевих і чавунних виробів машин, які експлуатуються в умовах зношення й недостатнього змащення за значних питомих навантажень. Низькотемпературний метод ХТО – сульфоціанування – було запропоновано для підвищення зносостійкості литої чавунної втулки відцентрового насоса.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є збільшення зносостійкості деталей відцентрових насосів із сірого чавуну хіміко-термічним обробленням. Для досягнення цієї мети, були вирішені такі завдання: аналіз умов роботи чавунної втулки насоса та мікроструктури сірого чавуну у вихідному стані; дослідження впливу сульфоціанування чавуну на його мікроструктуру та зносостійкість.

Поверхнєве оброблення чавунної захисної втулки

Захисні втулки для відцентрових насосів виготовляють із сірого чавуну, що має такий хімічний склад: 3,19 % С, 1,76 % Si, 0,38 % Mn, 0,082 % S, $\leq 0,21$ % P, залишки Cr, 0,16 % Cu. Для дослідження хімічного складу використовували портативний лазерний аналізатор моделі Laser Z200 C+.

Металографічні дослідження мікроструктури здійснювали на травлених і нетравлених шліфах на мікроскопі UIT MicroMet-D-101.

Втулка за м'яких сальникових ущільнень призначена для попередження зношення вала сальниковою набивкою. Захисна втулка працює в умовах абразивного зношення елементами набивки й абразивних частинок, які потрапляють до рідини, що перекачує насос, ззовні [1].

Сірий чавун у вихідному стані містить перліт, ферит, ділянки фосфідної евтектики та рівномірно розподілені вкраплення графіту пластинчастої форми (рис. 1, 2, 3).

Мікротвердість перліту становить $H_{50} = 1610 - 2100$ МПа.

Площина найбільших ізольованих великих вкраплень фосфідної евтектики становить не більше 2000 мкм (рис. 3). Залежно від будови це подвійна фосфідна евтектика.

Мікротвердість фосфідної евтектики становить $H_{50} = 6440 - 7660$ МПа.



Рис. 1. Мікроструктура чавуну у вихідному стані, $\times 200$



Рис. 2. Перліт у сірому чавуні, $\times 1000$

Форма графітних вкраплень у литому чавуні (рис. 3) є пластинчастою завихреною. Довжина графітних вкраплень становить 30–60 мкм.

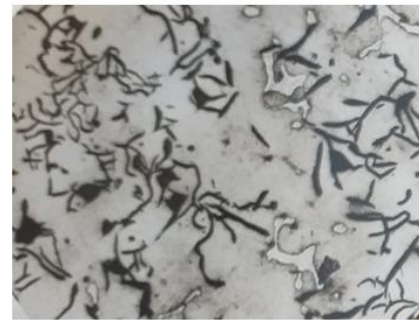


Рис. 3. Фосфідна евтектика та розподіл графітних вкраплень у структурі чавуну, $\times 100$

У роботі досліджували вплив часу витримки під час сульфоціанування на структуру, розміри та властивості поверхневого шару чавунних зразків.

Сульфоціанування чавунних зразків здійснювали в розплаві солей (K_2CO_3 , $CO(NH_2)_2$, Na_2S за 560 °C на дні ванни, яку нагрівали електродами, потужністю 30 квт. Час витримки варіювали.

Мікроструктура сульфоціанованого чавуну після витримки у ванні протягом 2-х годин наведена на рис. 4 (режим А).

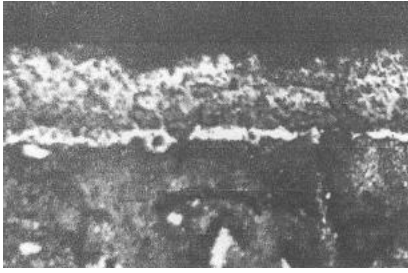


Рис. 4. Мікроструктура чавуну після сульфоціанування за температури 560 °С протягом 2-х годин (режим А), $\times 200$

Загальна товщина сульфоціанованого шару – 0,055 мм. Товщина карбонітридного шару – 0,008 мм.

На рис. 5 наведена мікроструктура чавуну, сульфоціанованого протягом 3-х годин 30 хвилин (режим Б). Товщина сульфоціанованого шару – 0,065 мм, карбонітридного – 0,01 мм.

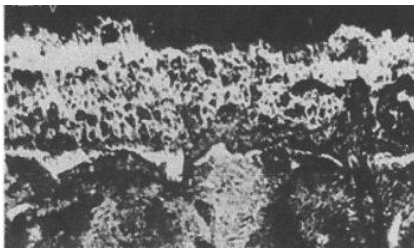


Рис. 5. Мікроструктура чавуну після сульфоціанування за температури 560 °С протягом 3-х годин 30 хвилин (режим Б), $\times 200$

Час витримки у ванні збільшили до 6 годин (режим В) (рис. 6). Загальна товщина сульфоціанованого шару становила 0,066 мм, товщина карбонітридного шару – 0,01 мм. Тобто збільшення часу витримки у ванні не сприяло збільшенню товщини карбонітридного шару.

Процес сульфоціанування подібний до процесу ціанування, тобто насичення поверхні виробів вуглецем і азотом у розплаві солей.

За температури 560 °С процес ціанування більш подібний до процесу азотування, тобто більшою мірою відбувається насичення азотом, а меншою – вуглецем. У процесі насичення чавуну за температури 560 °С азотом і

вуглецем утворюються такі фази: твердий розчин азоту в α -залізі (α -фаза), γ' -фаза – твердий розчин на основі карбонітриду заліза $\text{Fe}_3(\text{N}, \text{C})$, ε -фаза – твердий розчин на основі карбонітриду заліза $\text{Fe}_4(\text{NC})$ [8]. Під час такого оброблення формується тонкий карбонітридний шар, який менш крихкий, ніж чисті карбіди (Fe_3C) або нітриди (Fe_2N) [8].



Рис. 6. Мікроструктура чавуну після сульфоціанування за температури 560 °С протягом 3-х годин 30 хвилин (режим В), $\times 200$

Над карбонітридним шаром формується шар, який складається із сірчаного заліза FeS_2 [8].

На рис. 4–5, де наведена мікроструктура чавуну, сульфоціанованого за різними режимами, можна побачити тонкий карбонітридний шар білого кольору і над ним шар із сірчаного заліза. Аналіз мікроструктури сульфоціанованого шару здійснювали за мікротвердістю. Мікротвердість карбонітридного шару $H_{50} = 5500 - 6000$ МПа, мікротвердість шару сульфідів заліза $H_{50} = 750 - 1580$ МПа, мікротвердість перліту в зоні карбонітридного шару $H_{50} = 2210 - 3210$ МПа. Тобто утворення карбонітридного шару, що має підвищену мікротвердість, має забезпечувати підвищення зносостійкості, а м'який поверхневий шар – припрацьовуваність.

Порівняльні випробування сірого чавуну на зносостійкість здійснювали за схемою ролик-колодочка на машині тертя СМЦ-2. Колодочки виготовляли зі сталі 45 після гартування і низького відпускання. Ролики (зразки) виготовляли із чавуну в литому стані та після сульфоціанування за режимами А, Б і В. Під час кожного випробування спочатку протягом 45 хвилин здійснювалося припрацьовування за умови навантаження $P = 50$ Н у воді. Після цього зразки знімали з обладнання, очищали, промивали послідовно в бензині й ацетоні, висушували на повітрі за нормальної температури, зважували, встановлювали на машину тертя та здійснювали

випробування протягом 32 годин за навантаження $P = 100$ Н у воді. Втрату маси зразка вимірювали кожні 2 години на електронних вагах з точністю 0,0001 г. Зносостійкість чавуну визначали за відносною зносостійкістю K_{zn} , яку розраховували за формулою

$$K_{zn} = \frac{\Delta m_{em}}{\Delta m_{zp}},$$

де Δm_{em} – втрата маси еталону (литого сірого чавуну) за 32 години випробувань за робочого навантаження, мг; Δm_{zp} – втрата маси зразка за 32 години випробувань за робочого навантаження, мг.

Результати випробувань зносостійкості зразків чавуну в литому стані та після сульфокіанування за режимами А, Б і В наведені на рис. 7.

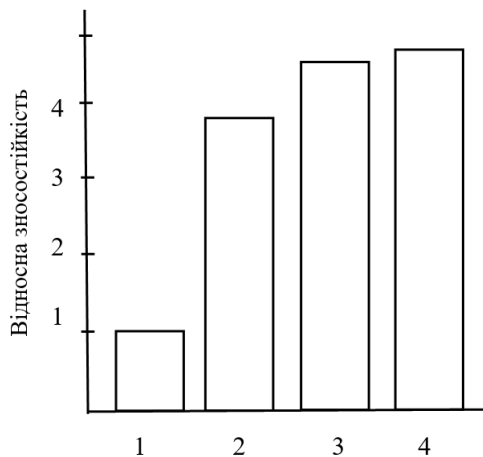


Рис. 7. Гістограми відносної зносостійкості ϵ чавуну: 1 – в литому стані; 2, 3, 4 – після сульфокіанування за режимами А, Б і В

Випробування демонструють, що сульфокіанування протягом 2-х годин збільшило зносостійкість чавуну у 3,9 раза. Високу зносостійкість має чавун після сульфокіанування за режимами Б і В протягом 3-х годин 30 хв і 6 годин (відносна зносостійкість 4,8 і 4,85 відповідно). Збільшення часу витримки з 3-х годин 30 хвилин до 6 годин майже не впливає на товщину сульфокіанованого шару та зносостійкість чавуну.

Отже, зносостійкість чавуну забезпечує твердий і зносостійкий карбонітридний шар, а гарну припрацьовуваність, зниження коефіцієнта тертя – шар сульфідів заліза FeS_2 , який здійснює функцію змащування.

Дослідження структури та мікротвердості поверхневого шару чавуну демонструють,

що в процесі сульфокіанування утворюється багатошарове покриття: верхній шар містить більш м'яку складову – сульфід заліза, нижній, прилеглий до металевої основи чавуну, містить тверді складові – карбонітриди заліза. Така будова поверхневого шару чавуну забезпечує за низьких значень коефіцієнта тертя підвищену зносостійкість.

На підставі досліджень можна дійти висновку щодо доцільності використання сульфокіанування для збільшення зносостійкості втулки із сірого чавуну, що працює в умовах абразивного зношення, обмеженого змащування за значних питомих навантажень.

Висновки

1. Після здійснення сульфокіанування сірого чавуну на поверхні отримано двошарове покриття.

2. На поверхні чавуну спочатку утворюється карбонітридний шар, який має мікротвердість $H_{50} = 5500 - 6000$ МПа та забезпечує підвищення зносостійкості, над ним формується шар із сульфідів заліза, що має мікротвердість $H_{50} = 750 - 1580$ МПа та забезпечує припрацьовуваність.

3. Випробування на зносостійкість чавуну після сульфокіанування з різною витримкою демонструють, що максимальну зносостійкість має чавун після сульфокіанування за режимом В (витримка 6 годин), але недовіком є його тривалість. Тому перевагу має сульфокіанування за режимом Б (витримка 3 години 30 хвилин), що забезпечує також значне підвищення зносостійкості, але має меншу тривалість.

4. Визначено, що збільшення часу витримки під час сульфокіанування до 3-х годин 30 хвилин і більше не впливає на товщину карбонітридного шару.

Література

- Герасимов Г. Г. Гідрравлічні та аеродинамічні машини: підручник. Рівне, 2008. 241 с.
- Шерман А. Д., Жуков А. А. Чугун: Справочное издание. Москва: Металлургия, 1991. 576 с.
- Підвищення зносостійкості захисної втулки відцентрового насоса із сірого чавуну поверхневим гартуванням / Лалазарова Н. О., Афанасьєва О. В., Попова О.Г., Дмитренко О.А. Вісник ХНАДУ. 2021. № 94. С. 103–107.
- Неижко И. Г. Термическая обработка чугуна. Киев: Наукова думка, 1992. 208 с.
- Теория и технология азотирования / Лахтин Ю. М., Коган Я. Д., Шпис Г. И., Бёмер З. М. : Металлургия, 1991. 320 с.

6. Серета Б. П., Ткаченко С. Н. Силицирование чугуна и стали в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2010. №2. С. 84–90.
7. Гуревич Ю. Г., Овсянников В. Е., Фролов В. А. Диффузионное хромирование деталей из феррито-перлитного серого чугуна. *Машиностроение и инженерное образование*. 2011. №2. С. 2–10.
8. Маттис Г. П. К вопросу о повышении эффективности сульфационирования: тезисы докладов III Всесоюзной научной конференции по химико-термической обработке металлов и сплавов. Минск. С. 144–145.
9. Гнездилова Ю. П., Серебровский В. В. Упрочнение сульфационированием электроосажденных железо-молибденовых покрытий для восстановления деталей машин. Курск: Изд-во КГСХА, 2008. 143 с.

References

1. Herasymov, H. H. (2008). *Hidravlichni ta aerodynamichni mashyny* [Hydraulic and aerodynamic machines]: Rivne. (in Russian).
2. & Shermana A. D. i &A. A. Zhukova &, (1991). *Chugun: Spravochnoe izdanie* [Cast Iron: A Reference Edition]. Moskva: Metallurgiya [in Russian].
3. Pidvyshchennia znosostiikosti zakhysnoi vtulky vidtsentrovoho nasosu iz siroho chavunu pove-rkhnevym hartuvanniam [Increasing the wear resistance of the protective sleeve of the centrifugal pump made of gray cast iron by surface hardening] / Lalazarova N. O., Afanasieva O. V., Popova O. H., Dmytrenko O. A. (2021). *Visnyk KhNADU*. 94. 103–107. (in Ukrainian).
4. Neyzhko, Y. H. (1992). *Termycheskaia obrabotka chuhuna* [Heat treatment of cast iron]. Kiev: Naukova dumka. [in Russian]
5. *Theory and technology of nitriding* [Theory and technology of nitriding] / Lakhtin Yu. M., Kogan Ya. D., Shpis G. I., Böhmer Z. (1991). Moskva: Metallurgy. [in Russian].
6. Sereda B. P., Tkachenko S. N. (2010). Silitsirovanie chuguna i stali v usloviyah samorasprostranyayuschego-sya vyisokotemperaturnogo sinteza [Silicification of cast iron and steel under conditions of selfpropagating high-temperature synthesis]. *Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni*. 2. 84–90. [in Russian].
7. Gurevich Yu. G., Ovsyannikov V. E., Frolov V. A. (2011). Diffuzionnoe hromirovanie detaley iz ferrito-perlitnogo serogo chuguna [Diffusion chromium plating of parts made of ferritic-pearlitic gray cast iron]. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie*. 2. 2–10. [in Russian].
8. Mattis G. P. (1977). K voprosu o povyishenii effektivnosti sulfotsianirovaniya [On the issue of increasing the efficiency of sulfocyanation]. *Tezisy dokladov Sh Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii po himiko-termicheskoy obrabotke metallov i splavov* (pp. 144–145). Minsk. [in Russian].
9. Gnezdilova Yu. P., Serebrovskiy V. V. (2008). *Uprochnenie sulfotsianirovaniem elektro-osazhdennykh zhelezo-molibdenovykh pokrytiy dlya vosstanovleniya detaley mashin* [Strengthening by sulfocyanation of electro-deposited iron-molybdenum coatings for the restoration of machine parts]. Kursk: Izd-vo KGSNA. [in Russian].

Лалазарова Наталія Олексіївна, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (095) 390-38-16, e-mail: lalaz1932@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Афанасьєва Ольга Валентинівна, к.т.н., доцент кафедри фізичних основ електронної техніки, тел. (+38) 096-525-62-35, e-mail: 7584839@ukr.net, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна.

Реброва Олена Михайлівна, к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства, тел.: (097) 481-15-92, e-mail: rebrovaem0512@gmail.com, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна.

Вознюк Олександр Ігорович, студент, тел. (098) 315-66-02, e-mail: sashavoznuk2018@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Increasing wear resistance of the protective bushing of the centrifugal pump made of gray cast iron by chemical-thermal treatment

Abstract. Problem. *The weak link that reduces the warranty time of centrifugal pumps is a unit that includes protective bushings and seals. The purpose of the bushings is to protect the rotor shaft from erosion, corrosion and wear. The bushing works under conditions of abrasive wear by elements of the seal packing and abrasive particles entering the liquid pumped by the pump. Due to accelerated surface wear, cast iron protective bushings do not satisfy the requirements service life.* **Goal.** *The purpose of the work is to increase wear resistance of pump parts made of gray cast iron by chemical and thermal treatment.* **Method.** *Metallographic studies of the structure were performed under a UIT MicroMet-D-101 microscope. Wear is studied using the roller-pad method on a friction machine. Sulfocyanation of cast iron samples was carried out in molten salts (K_2CO_3 , $CO(NH_2)_2$, Na_2S at $560\text{ }^\circ\text{C}$ at the bottom of the bath.* **Results.** *In the cast state, the microstructure of gray cast iron consists of ferrite, pearlite, double phosphide eutectic and lamellar graphite inclusions.*

*The influence of exposure time during sulfocyanation in a bath with molten salts on the structure and properties of the formed surface layer was studied. The exposure was carried out for 2 hours, 3 hours 30 minutes and 6 hours. After exposure in the bath, a thin carbonitride layer is formed on the surface of the cast iron, and a layer consisting of iron sulfide is formed on top. Conducting wear tests showed that sulfocyanation increases the wear resistance of gray cast iron. An increase in the wear resistance of cast iron is provided by a hard carbonitride layer, and good workability – by a layer of iron sulfides, which acts as a lubricant. **Scientific novelty.** Increasing the exposure time during sulfocyanation in the bath for more than 3 hours 30 minutes does not affect the thickness of the carbonitride layer. **Practical significance.** As an optimal mode of sulfocyanation, exposure for 3 hours 30 minutes can be recommended, which provides a 4.8-fold increase in wear resistance.*

Key words: gray cast iron, chemical and thermal treatment, sulfocyanation, wear resistance.

Lalazarova Nataliia, PhD, Associate Professor, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel. (095) 390-38-16,

e-mail: lalaz1932@gmail.com,

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Afanasiyeva Olga, PhD, Associate Professor, Physical Foundations of Electronic Engineering Department, tel. (+38) 096-525-62-35,

e-mail: 7584839@ukr.net, 14, Science Avenue, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine.

Rebrova Olena Mykhailivna, Ph. D., Associate Professor of Materials Science Department, tel.: (097) 481-15-92,

e-mail: rebrovaem0512@gmail.com,

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kyrpychova str., 2, Kharkiv, 61002, Ukraine.

Vozniuk Oleksandr, student, тел. (098) 315-66-02, e-mail: sashavoznuk2018@gmail.com,

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.
