

УДК 621.91.01

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.103

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗАХИСНОЇ ВТУЛКИ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ІЗ СІРОГО ЧАВУНУ ПОВЕРХНЕВИМ ГАРТУВАННЯМ

Лалазарова Н. О.¹, Афанасьєва О. В.², Попова О. Г.³, Дмитренко О. А.⁴

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний університет радіоелектроніки

³Харківський національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

⁴Харківський державний автомобільно-дорожній коледж

Анотація. Однією зі слабких ланок, що знижують гарантійний час роботи відцентрових насосів, є вузол, що містить ущільнення та захисні втулки. Для підвищення зносостійкості поверхневого шару тонкостінних втулок із сірого чавуну запропоновано використовувати поверхневе гартування з індукційним нагріванням і низький відпуск. Визначена оптимальна температура нагрівання під індукційне гартування для отримання максимальної твердості. Поверхневе гартування з низьким відпуском збільшило зносостійкість, як порівняти з литим чавуном, у 2,4 раза.

Ключові слова: сірий чавун, термічне оброблення, поверхневе гартування з індукційним нагріванням, відпуск, мартенсит.

Вступ

Відцентрові насоси призначені для перекачування води та рідин, їх використовують у системах гарячого та холодного водо- й теплопостачання, у системах водозаборів, для подачі пластової рідини на нафтових родовищах, морської води в системах пожежогасіння морських портових споруд тощо. [1].

Однією зі слабких ланок, що знижують гарантійний час роботи насоса, є вузол, який складається з ущільнення та захисної втулки. Основне призначення втулок в комплекті ротора – захищати вал від корозії, ерозії та зношення. Захисні втулки із сірого чавуну мають малий термін служби через швидке поверхневе зношення.

Аналіз публікацій

Для виготовлення захисних втулок використовують сірий чавун з пластинчастим графітом. Для підвищення зносостійкості поверхневого шару втулок із сірого чавуну з пластинчастим графітом використовують модифікування, різноманітні методи термічного, хіміко-термічного, термоциклічного оброблення [2, 3]. Високу ефективність мають технології термічного оброблення.

Термічне оброблення є потужним засобом підвищення властивостей чавуну завдяки зміні його матриці, ступеня графітизації, гомогенізації, зниження напружень і стабілізації розмірів.

Застосовують такі види термічного оброблення сірого чавуну: відпалення (високотемпературний і низькотемпературний), нормалізація, гартування (об'ємне і поверхневе), відпуск, ізотермічне та поверхневе гартування [4, 5].

Всі вони супроводжуються структурними змінами в чавуні, які протікають у процесі нагрівання й охолодження. Зміцнення чавуну досягають різноманітними видами гартування й відпуску. Захисна втулка – це тонкостінна деталь, тому для її поверхневого зміцнення необхідний метод, який викликає мінімальне короблення. Найбільш раціональним є метод індукційного гартування [6].

Мета і постановка завдання

Метою роботи є забезпечення високої зносостійкості чавунних деталей насосів термічним обробленням. Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені такі завдання: вивчення умов роботи чавунної захисної втулки насоса та особливостей її зношення; аналіз мікроструктури литого сірого чавуну; визначення оптимальної температури нагрівання для поверхневого індукційного гартування з метою отримання максимальної твердості захисної втулки; дослідження впливу стану чавуну на зносостійкість.

Термічне оброблення та поверхневе зміцнення захисної втулки із сірого чавуну

Як матеріал захисної втулки було вибрано сірий чавун СЧ20, який має такий хімічний склад: 3,19 % С, 1,76 % Si, 0,38 % Mn, 0,082 % S, $\leq 0,21$ % P, сліди Cr, 0,16 % Cu.

Призначення захисної втулки за м'яких сальникових ущільнень – це попередження зношення вала набивкою. Втулка працює в умовах абразивного зношення елементами набивки й абразивних частинок, які потрапляють до рідини, що перекачує насос ззовні [1].

Захисні втулки виготовляють із сірого чавуну, оскільки він завдяки своїй структурі – наявності пластинчастих графітних включень – має антифрикційні властивості та низький коефіцієнт тертя.

Мікроструктура сірого чавуну в литому стані складається з перліту, фериту, фосфідної евтектики і включень пластинчастого графіту (рис. 1, 2).



Рис. 1. Мікроструктура чавуну в литому стані, $\times 300$

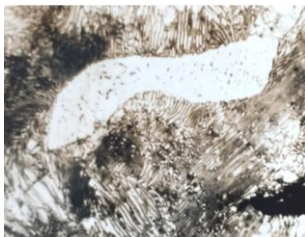


Рис. 2. Перліт дрібно пластинчастий (зображення подвійної фосфідної евтектики, $\times 1000$)

Довжина графітних включень ПГд25 – 15–30 мкм, ПГд45 – 30–60 мкм, вони мають пластинчасту завихрену форму ПГф2. Площина, зайнята перлітом П96, – від 94 % до 98 %. Ступінь дисперсності перліту – ПД1,0 (від 0,8 до 1,3 мкм). Залежно від типу розподілу фосфідної евтектики структура чавуну оцінюється ФЕр2 (ізольовані крупні включення).

Мікротвердість перліту – $H_{50} = 1550\text{--}2220$ МПа, мікротвердість фосфідної евтектики – $H_{50} = 6500\text{--}8000$ МПа.

Для збільшення зносостійкості поверхневого шару сірого чавуну використовували поверхневе гартування з індукційним нагріванням струмами високої частоти. Захисна втулка має тонкі стінки, зовнішній діаметр яких становить 95 мм, внутрішній – 80 мм, товщина стінки – 7,5 мм. Оскільки індукційне гартування не призводить до суттєвих викривлень і деформацій, то його можна використовувати для поверхневого зміцнення тонкостінної деталі, якою є захисна втулка.

Оскільки процес розчинення вуглецю та вільного вуглецю у вигляді графіту в аустеніті є дуже повільним (як порівняти зі швидкістю процесів нагрівання СВЧ), чавун для гартування повинен мати перлітну структуру, а графіт повинен міститися як дрібні включення. Якщо вихідна структура не відповідає вимогам для гартування СВЧ, то збільшення кількості перліту в структурі повинно забезпечуватися попереднім термічним обробленням – нормалізацією. Поверхневому зміцненню піддавали втулки з сірого чавуну в литому стані та після нормалізації.

Для поверхневого нагрівання деталі необхідно сконцентрувати велику кількість електричної енергії в невеликому об'ємі металу (питома потужність становить 0,5–1,5 кВт/см²) і здійснити нагрівання з великими швидкостями (30–300 °С / с). Час нагрівання має становити 1,5–20 с [5].

Мала питома потужність (0,3–0,4 кВт/см²) не дозволяє нагріти поверхню чавуну вище критичних температур, тому після гартування за таких умов чавун зберігає низьку твердість. Збільшення часу нагрівання в цьому випадку збільшує глибину нагрітого шару, не впливаючи на температуру поверхні.

Питома потужність у межах 0,7–1,2 кВт/см² за умови правильно вибраного часу нагрівання дозволяє отримати структуру дрібногочастого мартенситу [5].

Подальше підвищення питомої потужності в разі зменшення часу нагрівання призводить до більш різкого переходу від зміцненого шару до основного металу. А за потужності 2,0–2,2 кВт/см² спостерігається перегрівання, що призводить до утворення структури крупногочастого мартенситу та значної кількості залишкового аустеніту. З підвищенням питомої потужності та зі збільшен-

ням часу нагрівання збільшується глибина загартованого шару.

Основним фактором, що визначає процес поверхневого гартування, є температура нагрівання, яку необхідно вибрати з огляду на швидкість нагрівання. У літературі рекомендується такий режим: температура гартування – 840–950 °С за швидкості нагрівання 400 °С / с. За даними [5], максимальну твердість чавуну отримують після гартування з температури 840–900 °С залежно від складу чавуну.

Залежно від товщини зміцненого шару захисної втулки (2,0) мм відповідно до рекомендацій [6] вибираємо частоту струму гартування 54 кГц.

Вибір оптимальної температури нагрівання для отримання максимальної твердості поверхневого шару після поверхневого гартування здійснювали для сірого чавуну в литому стані на 5 зразках, які нагрівали до різних температур у високочастотному полі індуктора з наступним охолодженням у воді.

Температура нагрівання під гартування та отримані значення твердості наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Температура нагрівання під гартування литого сірого чавуну та отримані значення твердості поверхневого шару

Температура нагрівання під гартування, °С	Середня твердість, HRC
800	40
850	49
900	50
950	48
1000	44

Отже, оптимальна температура, яка забезпечує максимальну твердість, дорівнює 900 °С.

На рис. 3 наведено розподіл твердості за глибиною загартованого шару сірого чавуну.

Мікроструктура загартованого шару – мартенсит, подвійна фосфідна евтектика і графіт (рис. 4, а).

На рис. 4, б наведені зображення відбитків алмазної піраміди: менший відбиток – це мікротвердість фосфідної евтектики $H_{100} = 7240$ МПа, більший – мікротвердість мартенситу $H_{100} = 5720$ МПа. Фосфідна евтектика після індукційного нагрівання зберігається та забезпечує досить високу загальну твердість зміцненого поверхневого шару.

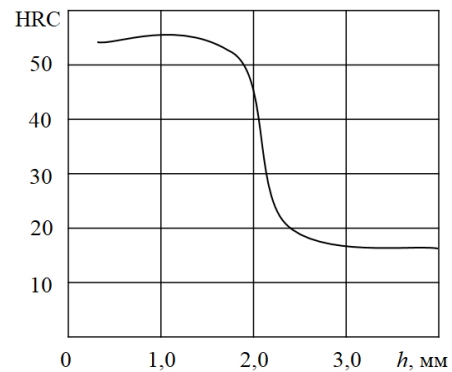
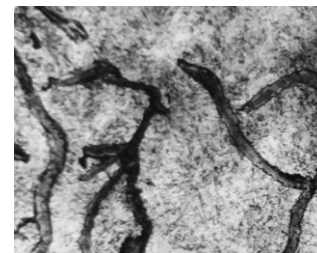


Рис. 3. Розподіл твердості за глибиною загартованого шару сірого чавуну



а



б

Рис. 4. Мікроструктура загартованого чавуну, $\times 300$

Після гартування зразки піддавали відпусканню. Дослідження впливу температури процесу відпускання на твердість чавуну демонструють, що відпускання за температури 200 °С знижує твердість на 2–3 HRC, за температури 300 °С – на 5 HRC, за 400 °С – на 7 HRC (рис. 5).

Дослідження впливу поверхневого зміцнення на зносостійкість здійснювали за схемою «ролик-колодочка» на машині тертя СМЦ-2.

Результати випробувань зносостійкості зразків чавуну в литому стані, після поверхневого зміцнення литого чавуну та після поверхневого зміцнення попередньо нормалізованого чавуну наведені в табл. 2. Нормалізацію здійснювали за режимом нагрівання до 870 °С з витримкою 0,5 години та охолодженням на повітрі.

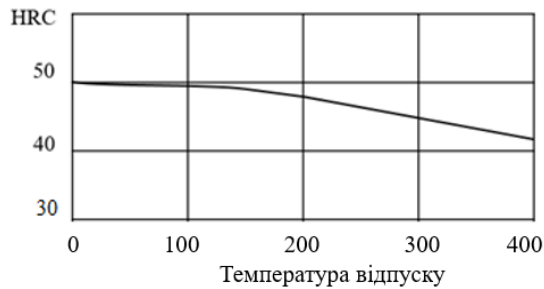


Рис. 5. Залежність твердості поверхневого шару чавуну від температури відпуску

Відносну зносостійкість визначали у співвідношенні до вихідного (литого) стану чавуну.

Таблиця 2 – Зносні випробування чавуну СЧ20

Номер зразка та стан чавуну	Втрата маси за 15 хв, г	Відносна зносостійкість
1. Сірий чавун в литому стані	17,229	1,0
2. Сірий чавун в литому стані після гартування СВЧ і низького відпускання	7,552	2,4
3. Сірий чавун, нормалізований після гартування СВЧ і низького відпускання	7,180	2,3

Найбільшу зносостійкість має чавун у литому стані після гартування СВЧ. Максимальна зносостійкість забезпечується високою твердістю мартенситної матриці та фосфідної евтектики.

Попередня нормалізація практично не вплинула на зносостійкість чавуну, тому що в його структурі менше ніж 10 % фериту. Попереднє термічне оброблення може бути ефективним за умов, якщо структур чавуну містить 10–20 % фериту.

Таким чином, на основі проведених досліджень було визначено, що індукційне гартування з низьким відпуском литого сірого чавуну дозволило збільшити його зносостійкість в 2,4 раза.

Поверхнєве гартування з індукційним нагріванням має високу продуктивність, не викликає значних деформацій або зміни розмірів тонкостінних деталей і може бути рекомендоване для підвищення зносостійкості поверхневого шару захисних втулок центробіжних насосів із сірого чавуну.

Висновки

1) захисні втулки відцентрового насоса здійснюють функцію попередження зношення вала ротора набивкою кінцевого ущільнення та захисту від корозії;

2) втулка працює в умовах абразивного зношення елементами набивки та абразивних частинок, які потрапляють до рідини, що перекачує насос ззовні, і виготовляється із сірого чавуну;

3) поверхнєве гартування з індукційним нагріванням з наступним низьким відпусканням є ефективним способом підвищення зносостійкості литих чавунних виробів невеликого перерізу;

5) визначена оптимальна температура нагрівання під індукційне гартування становить 900 °C, що дозволило отримати мікроструктуру загартованого шару – мартенсит, подвійну фосфідну евтектику і графіт – та максимальну твердість 50 HRC;

6) поверхнєве гартування з низьким відпуском литого сірого чавуну дозволило збільшити його зносостійкість в 2,4 раза;

7) попередня нормалізація майже не вплинула на зносостійкість чавуну, тому що в його структурі менше 10 % фериту. Попереднє термічне оброблення може бути ефективним в тому випадку, структура чавуну містить 10–20 % фериту.

Література

- Трясцин Р. А., Панова И. В. Центробежные насосы типа ЦНС. Часть 1. Узлы и детали: методические указания по проведению лабораторных работ. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. 34 с.
- Чугун: Справочное издание / под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. Москва: Металлургия, 1991. 576 с.
- Парфенов В. Д. Структура, свойства и применение чугунов: учебное пособие. Москва: МГУПС (МИИТ), 2016. 53 с.
- Паисов И. В. Термическая обработка стали и чугуна. Москва: Металлургия, 1970. 264 с.
- Термическая обработка серого чугуна: учебное пособие / В. К. Афанасьев и др. Новокузнецк: ГОУ ВПО «СибГИУ», 2004. 58 с.
- Головин Г. Ф., Замятин М. М. Высококачественная термическая обработка: вопросы металлургии и технологии. Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. 239 с.

References

- Tryascin R. A., Panova I. V., (2015). *Centrifugal pumps type CNS. CHast' 1 – Uzly i detali: meto-dicheskie ukazaniya po provedeniyu laboratornykh rabot*. Tyumen: TyumGNGU, 2015. 34 p.

- deniyu laboratornyh robot [Centrifugal pumps, type CNS]. Tyumen': TyumGNGU [in Russian].
2. & Shermana A. D. i & A. A. Zhukova &, (1991). *Chugun: Spravochnoe izdanie [Cast Iron: A Reference Edition]*. Moskva: Metallurgiya [in Russian].
 3. Parfenov V. D., (1970). *Struktura, svoystva i primeneniye chugunov: uchebnoye posobie [Structure, properties and application of cast irons]*. Moskva: MGUPS (MIIT) [in Russian].
 4. Paisov I. V. (1970). *Termicheskaya obrabotka stali i chuguna [Termicheskaya obrabotka stali i chuguna]*. M. : Metallurgiya [in Russian].
 5. Termicheskaya obrabotka serogo chuguna: uchebnoye posobie / Afanas'ev V. K. et al (2004). Novokuzneck : GOU VPO «SibGIU» [in Russian].
 6. Golovin G. F., Zamyatin M. M., (1990) *Vysokochastotnaya termicheskaya obrabotka: Voprosy metallovedeniya i tekhnologi [High-frequency heat treatment: Vopredew of metallurgy and technology]*. Leningrad: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie [in Russian].

Лалазарова Наталія Олексіївна, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (057) 707-37-92, e-mail: lalaz1932@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, 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, 14, пр. Науки, м. Харків, 61166, Україна.

Попова Олена Георгіївна, к.т.н., доцент кафедри композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства, тел. (067) 570-12-17, e-mail: o.popova@khai.edu, Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 17, вул. Чкалова, м. Харків, 61070, Україна.

Дмитренко Олексій Антонович, викладач, тел. (095) 421-26-14. Харківський державний автомобільно-дорожній коледж, 3, вул. Котельниківська, м. Харків, 61201, Україна.

Increasing wear resistance of the protective sleeve of the centrifugal pump made of gray cast iron by surface hardening

Abstract. Problem. *One of the weak spots that reduce the guaranteed operating time of centrifugal pumps is the assembly that includes the seal and protective sleeves. The main purpose of the bushings in the rotor kit is to protect the shaft from corrosion, erosion and wear. The sleeve operates under abrasive wear conditions by packing elements and abrasive particles that get into the liquid pumped by the pump. The protective sleeves made of gray cast iron do not meet the service life in connection with accelerated surface wear. Goal.* *The purpose of the work is to*

ensure high wear resistance of cast iron pump parts by heat treatment. Method. *The chemical composition was determined on a portable laser analyzer Laser Z200 C +. The structure was studied using an optical microscope. The wear was investigated by the roller-block method on a friction machine. Surface quenching was carried out with a high-frequency lamp generator in a single-turn inductor. Results.* *The microstructure of gray cast iron as cast consists of pearlite, ferrite, double phosphide eutectic and inclusions of lamellar graphite. Microhardness of small-lamellar pearlite is $H_{50} = 1550\text{--}2220$ MPa, microhardness of phosphide eutectic is $H_{50} = 6500\text{--}8000$ MPa. Surface induction quenching by high-frequency currents followed by low tempering is an effective way to increase the wear resistance of cast iron products of small cross-section and does not cause warping. Cast iron for surface quenching should have a pearlite structure, and graphite should be contained in the form of small inclusions. The optimal heating temperature for induction hardening was determined as 900 °C, which made it possible to obtain the microstructure of the hardened layer – martensite, double phosphide eutectic and graphite. Scientific novelty.* *The developed modes of surface quenching make it possible to preserve a double phosphide eutectic in the structure of the surface layer, which makes it possible to obtain high hardness and wear resistance of the hardened layer. Practical significance.* *Surface induction quenching with low tempering of cast gray iron increased its wear resistance by 2,4 times. The previous normalization had practically no effect on the durability of cast iron, since its structure contains less than 10% ferrite.*

Key words: gray cast iron, heat treatment, surface induction quenching, martensite, tempering.

Lalazarova Nataliia, PhD, Associate Professor, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel. (057) 707-37-92, e-mail: lalaz1932@gmail.com, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Afanasieva 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.

Popova Olena, PhD, Associate Professor, Department of Composite Structures and Aviation Materials, (057) 788-44-03, e-mail: o.popova@khai.edu, Kharkiv National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", 17, Chkalov str., Kharkiv, 61070, Ukraine.

Dmytrenko Oleksiy, teacher, tel. (095) 421-26-14. Kharkiv State Automobile-Road College, 3, st. Kotelnikivska, Kharkiv, 61201, Ukraine.