

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ НАСОСІВ ІЗ СІРОГО ЧАВУНУ<sup>24</sup>

**Вознюк О.І.** студент групи МС-41-20  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Відцентрові насоси – ефективне та високошвидкісне обладнання для перекачування різноманітних рідин: від чистої води – до стічних вод та хімічно активних речовин. Слабкою ланкою, що знижує строк експлуатації насосів, є вузол, який включає ущільнення і захисні втулки. Призначення захисних втулок в комплекті ротора – захищати вал від корозії та зносу. Захисні втулки із сірого чавуну мають малу товщину і не вдовольняють строку служби у зв'язку з прискореним поверхневим зносом. Для підвищення зносостійкості, покращення прироблюваності і попередження утворення задиру виробів із сірого чавуну було запропоновано використовувати низькотемпературне сульфоціанування.*

***Ключові слова:** сірий чавун, хіміко-термічна обробка, сульфоціанування, зносостійкість*

## INCREASING THE DURABILITY OF GRAY IRON PUMP PARTS

**Vozniuk O.,** student of group МС-41-20  
Kharkiv National Automobile and Highway University

***Abstract.** Centrifugal pumps are efficient and high-speed equipment for pumping various liquids: from clean water to sewage and chemically active substances. The weak link, which reduces the service life of the pumps, is the unit, which includes seals and protective sleeves. The purpose of the protective sleeves in the rotor set is to protect the shaft from corrosion and wear. Protective bushings made of gray cast iron have a small thickness and do not satisfy the service life due to accelerated surface wear. In order to increase wear resistance, improve workability and prevent burr formation of products made of gray cast iron, it was proposed to use low-temperature sulfocyanation.*

***Key words:** gray cast iron, chemical-thermal treatment, sulfocyanation, wear resistance*

### Вступ

Відцентрові насоси – ефективне та високошвидкісне обладнання для перекачування різноманітних рідин: від чистої води – до стічних вод та хімічно активних речовин [1]. Слабкою ланкою, що знижує строк експлуатації насосів, є вузол, який включає ущільнення і захисні втулки. Призначення захисних втулок в комплекті ротора – захищати вал від корозії та зносу. Захисні втулки із сірого чавуну мають малу товщину і не вдовольняють строку служби у зв'язку з прискореним поверхневим зносом.

Для підвищення зносостійкості, покращення прироблюваності і попередження утворення задиру виробів із сірого чавуну було запропоновано використовувати низькотемпературне сульфоціанування.

В процесі сульфоціанування утворюється тонкий карбонітридний шар, який забезпечує підвищення зносостійкості і корозійної стійкості захисної втулки. Над карбонітридним шаром утворюється шар із сульфідів заліза, який має низьку мікротвердість і є твердим змащенням – забезпечує високу прироблюваність та стійкість до задиру.

---

<sup>24</sup> Робота виконана під керівництвом доцента Лалазарової Н.О.

## Мета роботи

Мета даної роботи – вибір параметрів сульфоціанування тонкостінних втулок із сірого чавуну для підвищення їх довговічності.

## Аналіз публікацій

Захисні втулки виготовляють із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Сірий чавун має добрі ливарні властивості, що дозволяє отримувати якісні виливки [2(3), 3 (4)].

Для поверхневого зміцнення використовують різні методи: лазерну [4 (10), 5 (11)] та плазмову обробку [6 (12)] (забезпечують погану якість поверхні, висока вартість обладнання); індукційне гартування [7 (13)], азотування [14], нітроцентацію, сіліціювання, алітування [8 (15)], хромування [9 (16)] (забезпечують високу твердість і зносостійкість поверхневого шару); оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей [10 (17)], сульфідкування (забезпечує добру прироблюваність), сульфоціанування (забезпечує підвищення зносостійкості, покращення прироблюваності і попередження утворення задиру) [11 (18), 12 (19)]. Для вибору оптимального методу поверхневого зміцнення потрібно, щоб він забезпечував високу твердість поверхневого шару, покращення прироблюваності і попередження утворення задиру, тому що робота в умовах обмеженого змащення може сприяти утворенню задиру. Температура нагріву деталі при поверхневому зміцненні не повинна бути дуже високою, щоб не було короблення, так як втулка тонкостінна деталь.

Проведений аналіз методів поверхневого зміцнення виробів із сірого чавуну показав, що для забезпечення високої зносостійкості захисної втулки можуть використовуватися різні методи, загальними недоліками яких є їх тривалість, висока вартість та висока температура. Виходячи з перерахованих вище умов та обмежень для підвищення зносостійкості, покращення прироблюваності і попередження утворення задиру було запропоновано використовувати низькотемпературне сульфоціанування.

## Матеріал та методики досліджень

В якості матеріалу захисної втулки був обраний сірий чавун СЧ21. Хімічний склад чавуну: 3,19 % С, 1,76 % Si, 0,38 % Mn, 0,082 % S,  $\leq 0,21$  % P, сліди Cr, 0,16 % Cu.

Хімічний склад визначали на портативному лазерному аналізаторі Laser Z200 С+.

Металографічні дослідження проводилися за загальноприйнятою методикою на цифровому металографічному мікроскопі. Для виявлення структури чавуну застосовували травлення реактивом: 5 % пікринової кислоти та етиловий спирт.

Для вимірювання мікротвердості використовували дослідницький комплекс на основі мікротвердоміра ПМТ-3 з чотиригранною алмазною пірамідою при навантаженні 50 г.

Сульфоціанування чавунних зразків проводили в розплаві солей ( $K_2CO_3$ ,  $CO(NH_2)_2$ ,  $Na_2S$ ).

Для випробувань на тертя та зношування використовували схему «ролик-колодка» на машині тертя СМЦ-2. Дослідження на тертя проводили в середовищі води. Швидкість ковзання контртіл – 1,0 м/с, навантаження – 1500 МПа.

Зносостійкість також оцінювали за часом до початку задиру зразка, що є важливою характеристикою, так як з початку задиру зразка різко падає момент тертя і починається інтенсивний знос.

## Результати досліджень та їх обговорення

Основне призначення втулок в комплекті ротора відцентрового насоса – захищати вал від зносу, корозії та ерозії. Найбільш відповідальною є втулка валу в зоні кінцевих ущільнень насоса. При м'яких сальникових ущільненнях втулки служать для попередження зносу валу набивкою. Поверхневий шар втулки повинен мати високу твердість і зносостійкість, а також задиростійкість. Запропоновано на основі проведеного аналізу літературних джерел для виготовлення захисної втулки використовувати сірий чавун СЧ21.

В литому стані мікроструктура сірого чавуну складається з фериту, перліту, подвійної фосфідної евтектики та пластинчастого графіту (рис. 1).

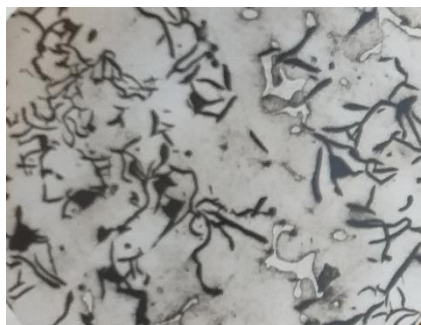


Рисунок 1 – Мікроструктура чавуну в литому стані, не травлено,  $\times 200$

Перліт має мікротвердість  $H_{50} = 1610 - 2100$  МПа, фосфідна евтектика –  $H_{50} = 6440 - 7660$  МПа.

Для підвищення довговічності виробів із сірого чавуну, тобто твердості, зносостійкості та задиростійкості зразки із сірого чавуну в литому стані піддавали низькотемпературному поверхневому зміцненню, яке не викликає короблення тонкостінних виливків із сірого чавуну – сульфоціануванню.

Температура сульфоціанування –  $560$  °С, видержка при цій температурі варіювалася – 1,45; 2,0; 3,5; 6,0 годин.

Процес сульфоціанування подібний до процесу ціанування, тобто насичення поверхні виробів вуглецем і азотом у розплаві солей. При температурі  $560$  °С процес ціанування більше подібний до процесу азотування, тобто відбувається в більшому ступені насичення азотом, а в меншому – вуглецем. В процесі насичення чавуну при температурі  $560$  °С азотом і вуглецем утворюються наступні фази: твердий розчин азота в  $\alpha$ -залізі ( $\alpha$ -фаза),  $\gamma'$ -фаза – твердий розчин на основі карбонітриду заліза  $Fe_3(N, C)$ ,  $\epsilon$ -фаза – твердий розчин на основі карбонітриду заліза  $Fe_4NC$ . В результаті такої обробки формується тонкий карбонітридний шар, який менш крихкий, ніж чисті карбіди ( $Fe_3C$ ) або нітриди ( $Fe_2N$ ) [6]. Утворення карбонітридного шару сприяє підвищенню зносостійкості і корозійної стійкості сірого чавуну.

Над карбонітридним шаром розташований шар, який складається із сірчаного заліза, товщина якого  $0,05$  мм.

Мікротвердість карбонітридного шару  $H_{50} = 5500 - 6000$  МПа, мікротвердість шару сульфиду заліза  $H_{50} = 750 - 1580$  МПа, мікротвердість перліту в зоні карбонітридного шару  $H_{50} = 2210 - 3210$  МПа.

Поверхневий шар захисної втулки працює в умовах абразивного зносу при значних питомих навантаженнях і обмеженого змащування. При терті втулки і набивки кінцевого ущільнення має місце молекулярне зчеплення, яке є причиною задиру. Для попередження молекулярного зчеплення можна створити на поверхні тертя плівки, які будуть виконувати

роль змащення. При створенні на поверхні втулки захисної плівки тертя буде відбуватися між захисною плівкою і твердою поверхнею набивки ущільнення.

В роботі досліджувалися процеси тертя зразків сірого чавуну, на поверхні яких були отримані захисні плівки.

Результати випробувань зносостійкості зразків чавуну в литому стані, після сульфоціанування на глибині 150 мм в ванні (режим А); режими Б, В, Г – сульфоціанування на дні ванни з різною видержкою наведені в таблиці 1. Відносну зносостійкість визначали по відношенню до вихідного (литого) стану чавуну, зносостійкість якого була прийнята за одиницю. Визначали також час до початку задиру зразка. Це важлива характеристика, так як з початку задиру зразка різко знижується момент тертя і починається інтенсивний знос.

Таблиця 1 – Режими сульфоціанування, склад поверхневого шару, відносна зносостійкість сірого чавуну

Позначення режиму	Режим ХТО	Видержка, хв	Загальна товщина шару при сульфоціануванні, мм	Товщина карбонітريدного шару, мм	Відносна зносостійкість	Час до початку задиру, хв
А	Сульфоціанування (на глибині 150 мм)	1 год 45 хв	0,025	-	1,3	3,6
Б	Сульфоціанування (на дні ванни)	2 год	0,06	0,008	3,9	42
В	Сульфоціанування (на дні ванни)	3 год 30 хв	0,065	0,01	4,8	57
Г	Сульфоціанування (на дні ванни)	6 год	0,066	0,01	4,85	61
	Сірий чавун в литому стані				1	0

Високу зносостійкість має чавун після сульфоціанування на дні ванни (режими В і Г) на протязі 3 години 30 хв і 6 годин, коли утворюється карбонітريدний шар і шар сульфідів заліза. Збільшення часу видержки з 3 годин 30 хвилин до 6 годин практично не впливає на товщину сульфоціанованого шару і зносостійкість чавуну. Зносостійкість чавуну забезпечує твердий і зносостійкий карбонітريدний шар, а шар сульфідів заліза, який виконує роль змащення, забезпечує високу задиростійкість (час до задиру), гарну припрацьовуваність.

Розподіл хімічних елементів змінюється за товщиною шару. Максимальна концентрація N, С спостерігається у нижньому підшару [6]. Вказана будова поверхневого шару чавуну забезпечує при низьких значеннях коефіцієнту тертя підвищену зносостійкість і покращену припрацьовуваність та стійкість до задиру.

Таким чином, на основі проведених досліджень було встановлено, що максимальну зносостійкість і стійкість до задиру має чавун після сульфоціанування за режимом В, який можна рекомендувати для поверхневого зміцнення тонкостінної втулки з сірого чавуну, як найбільш економічний процес ХТО.

## Висновки

1. Для поверхневого зміцнення тонкостінної втулки із сірого чавуну використовують низькотемпературну хіміко-термічну обробку, що не викликає короблення втулки – сульфоціанування.

2. В процесі сульфоціанування утворюється тонкий карбонітридний шар, до складу якого входять фази:  $\gamma'$  – твердий розчин на основі карбонітриду заліза  $\text{Fe}_3(\text{N}, \text{C})$ ,  $\epsilon$ -фаза – твердий розчин на базі карбонітриду заліза  $\text{Fe}_4\text{NC}$ , а зверху формується шар із сульфідів заліза  $\text{FeS}_2$ .

3. Карбонітридний шар, що має мікротвердість  $H_{50} = 5500 - 6000$  МПа, забезпечує підвищення зносостійкості і корозійної стійкості сірого чавуну, а шар із сульфідів заліза, що має мікротвердість  $H_{50} = 750 - 1580$  МПа, забезпечує добру припрацьовуваність і задиростійкість (час до задиру).

4. Максимальну зносостійкість і стійкість до задиру має чавун після сульфоціанування за режимом В, який можна рекомендувати для поверхневого зміцнення тонкостінної втулки з сірого чавуну, як найбільш економічний процес хіміко-термічної обробки.

## Література

1. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Гідравлічні машини : навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. 100 с.

2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство всіх форм навчання / Укл.: Лисенко О.Б, Калініна Т.В. Кам'янське, ДДТУ, 2019. 24 с.

3. Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники: Монографія / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, О.В. Сайчук. Під ред. д.т.н. проф. Скобло Т.С. Х : Діса плюс, 2019. 282 с.

4. Сігова В.І., Руденко П.В. С-34 Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2008. 218 с.

5. Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О., Федоренко Є. П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів : монографія. Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.

6. Застосування лазерно-плазмового методу зміцнення деталей двигунів внутрішнього згоряння із чавуну / Ковальчук Ю.О., Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук А.О., Садовий К.В. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Том 31 (70) Ч. 1 № 2 2020. С. 7-12.

7. E. L. Castellanos-Leal, D. A. Miranda, A. E. Coy, J G Barrero, J. A. González, O. P. Vesga Rueda. Induction hardening treatment and simulation for a grey cast iron used in engine cylinder liners. *Journal of Physics: Conf. Series* 786 (2017) 012013.

8. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник з вибіркової компоненти "Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування" для студентів галузі знань 13 Механічна інженерія, спеціальностей 131 Прикладна механіка усіх форм навчання. / Уклад. С.П. Гожій. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 104 с.

9. Shailesh Kumar Singh and others. Tribological Properties of Chromium Nitride on the Cylinder Liner under the Influence of High Temperature. *Materials* 2020, 13(20), 4497.

10. Підвищення трибологічних властивостей поверхневого шару чавуну за допомогою оброблення в середовищі перегрітої пари водяного розчину солей / Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Волошина Л. В., Колесник М. А. *Вісник ХНАДУ*, 2021. Вип. 94. С. 123-127.

11. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування : монографія / Є.А. Фролов, С.І. Кравченко, С.В. Попов, С.М. Гнітько. Полтава, 2019. 204 с.
12. Іванов Я.Р., Круглова Ірина. Підвищення конструкційної зносостійкості сталей за рахунок створення поверхневих шарів деталей при ХТО // VII Всеукраїнська науково-технічна конференція магістрантів і студентів ТДАТУ. Механіко-технологічний факультет: матеріали VII Всеукр. наук.-техн. конф., 11-22 листопада 2019 р. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С. 27.