

НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРИБОРУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

О.С. Косторной, М.О. Лактіонов, К.Ю. Холоша

Акціонерне товариство «Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут атомного та енергетичного насособудування». 40003, м. Суми, вул. 2-га Залізнична, 2. E-mail: laktionov@vniiaen.sumy.ua

Нівелювання осьових зусиль на вал відцентрових насосів залежить від характеристик торцевих щілинних кілець розвантажувального пристрою, що визначають стабільність щілинного зазору між ними. У даній роботі представлено способи підвищення зносостійкості поверхонь, що сполучаються між щілинними кільцями, шляхом наплавлення на них покриттів композиційного сплаву, армованого карбідами вольфраму (реліту). Показано переваги та недоліки електродугового, плазово-порошкового та пічного наплавлення щілинних кілець, а також відзначено істотне поліпшення процесу при заміні колотого реліту на сферичний. Бібліогр. 6, рис. 4.

Ключові слова: щілинні кільця, карбіди вольфраму (реліт), зносостійкість, наплавлення електродугове, плазово-порошкове та пічне

Особливістю роботи відцентрового насоса є наявність осьового зусилля, що діє на вал робочого колеса. У високонапірних багатоступеневих відцентрових насосах одним із способів урівноваження великих осьових сил, що впливають на ротор, є застосування саморегулюючого автоматичного розвантажувального пристрою – гідроп'яти. Вона складається з двох сполучених вузлів: обертового на валу ротора розвантажувального диска і «подушки», закріпленої нерухомо в корпусі насоса. Урівноваження осьових сил відбувається в процесі саморегулювання щілинного торцевого зазору між розвантажувальним диском і «подушкою» гідроп'яти. Принцип його дії полягає в наступному: при осьовому переміщенні ротора змінюється щілинний торцевий зазор між розвантажувальним кільцем і «подушкою» гідроп'яти, що тягне за собою зміну перетікання рідини в гідроп'яті і появу тиску рідини на ротор в протилежному осьовому напрямку. Таким чином, вирівнюються осьові зусилля на ротор і його місце розташування відновлюється.

Функціональна надійність гідравлічного розвантажувального пристрою залежить від стабільності розмірів торцевого щілинного зазору між поверхнями розвантажувального диска та «подушки» гідроп'яти. Оптимальний зазор (0,06...0,10 мм) забезпечує мінімальні протікання рідини, що перекачується, та незначне зниження коефіцієнта корисної дії (к.к.д.) насоса [1].

В процесі експлуатації насосів на щілинний зазор і якість поверхонь, що сполучаються в зоні зазору, впливають такі чинники:

- при пусках і зупинках насоса зазор може зменшитися до нуля, що призведе до зносу поверхонь контакту;

- ймовірність контакту ротора зі статором через високий рівень вібрацій або деформацій ро-

© О.С. Косторной, М.О. Лактіонов, К.Ю. Холоша, 2021

тора при експлуатації, особливо в умовах перехідних режимів, може привести до задирання або схоплення металу контактуючих поверхонь;

- наявність в рідині, що перекачується, зважених часток призводить до ерозійного зносу поверхонь щілинного зазору;

- специфічне середовище в рідині може викликати корозійне зношення на поверхнях деталей в зоні щілинного зазору.

Знос деталей в зоні торцевого щілинного зазору викликав необхідність заміни вузлів гідроп'яти. Тому раціональним конструктивним рішенням стало застосування в зоні торцевого щілинного зазору змінних, так званих щілинних кілець, які закріплюються на розвантажувальному диску і «подушці» гідроп'яти.

З метою мінімізації впливу зазначених факторів на торцевий зазор гідроп'яти в насособудуванні особлива увага приділяється вибору матеріалів для виготовлення щілинних кілець. Ці матеріали повинні мати високу стійкість проти задирання і можливого схоплювання поверхонь контакту. Втрата металу в зоні зазору в результаті корозії або ерозійної корозії повинна бути незначною при експлуатації, щоб уникати збільшення зазору, зниження к.к.д. насоса та демпфірування ротора.

Твердість кілець в зоні щілинного зазору можна регулювати в широкому діапазоні, застосовуючи не тільки різні основні матеріали, а і використовуючи різні способи наплавлення зносостійкого поверхневого шару [2, 3]. Акціонерне товариство «Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут атомного та енергетичного насособудування» (АТ «ВНДІАЕН») в своїх розробках відцентрових насосів для нафтопромислового комплексу використовував, в основному, дугове наплавлення щілинних кілець сплавами на основі кобальту типу Стелліт 6. Наприклад,

таке наплавлення використовувалось при виготовленні серійних відцентрових насосів типу ЦНС-180 для закачування води в нафтові пласти з метою підтримання пластового тиску. Однак на багатьох родовищах, де використовуються досить агресивні та забруднені твердими частками пластові води, кільця гідроп'яти, які були виготовлені із сталі 12X18H12M3T та наплавлені Стеллітом 6, мали при експлуатації обмежений ресурс експлуатації.

Відомо [4], що при роботі з рідинами, які містять абразивні частки, з успіхом використовуються кільця з карбідів вольфраму. Також при наплавленні бурових труб, які працюють в умовах інтенсивного зношування, високу ефективність показав композиційний сплав на основі литих карбідів вольфраму (далі реліт). У зв'язку зі зростаючими вимогами до надійності роботи гідроп'яти насосів були виконані дослідження по наплавленню щілинних кілець торцевого ущільнення композиційним сплавом, армованим релітом (в подальшому наплавлення релітом).

Процес наплавлення релітом має дві стадії: розведення зварювальної ванни на основі хромонікелевого сплаву (матриці) і одночасно подача у зварювальну ванну зерен реліту. Зерна реліту мають велику твердість, високі показники температури плавлення і питомої ваги. Щілинні кільця торцевого ущільнення наплавляються в нижньому положенні, що істотно спрощує армування релітом матриці.

Спочатку роботи з наплавленням релітом були виконані стосовно до насосів ЦНС-180 на кільцях зі сталі марки 12X18H12M3T діаметром 250/150 мм завтовшки 27 мм. Для експериментів і впровадження процесу електродугового наплавлення використовували робототехнічний комплекс «Limat-RT280», матеріал матриці – зварювальний дріт Св-07X25H13 діаметром 1,6 мм, армуюча фаза – реліт колотий марки «З» по ТУ У 322-19-005-96.

В процесі відпрацювання технології електродугового наплавлення вирішені наступні питання:

- розроблено дозуючий пристрій подачі колотого реліту;
- визначено місце і кут подачі реліту в зварювальну ванну;
- оптимізована кількість реліту в композиційному сплаві;
- обрані оптимальні режими наплавлення.

Вплив різних факторів на якість наплавлення оцінювали на макрошліфах за кількістю реліту на

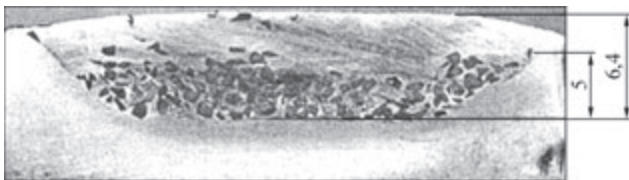


Рис. 1. Характерна макроструктура наплавленого металу

робочій поверхні щілинних кілець і по відсутності дефектів в наплавленому металі (рис. 1).

Виконані експериментальні роботи дозволили забезпечити:

- вміст реліту в наплавленому металі понад 40 % після механічної обробки наплавленого шару на висоту 2...3 мм;
- хорошу змочуваність зерен реліту хромонікелевим металом в зварювальній ванні;
- відсутність тріщин та інших дефектів в наплавленому металі.

Розроблена технологія успішно була впроваджена і дозволила значно збільшити зносостійкість щілинних кілець розвантажувального пристрою відцентрових насосів в умовах забезпечення вмісту реліту на робочих поверхнях не менше 40 %.

Однак колотий реліт має ряд недоліків, пов'язаних з технологією його отримання. Значна частина зерен реліту відрізняється неоднорідністю складу, нерівновісністю і загостреністю форм, а також наявністю тріщин. В кінцевому підсумку це негативно відбивається на працездатності наплавлених композиційних шарів [5]. Ця проблема була вирішена після промислового освоєння технології одержання реліту сферичної форми. Такий реліт має сферичну форму заданого гранулометричного складу, що забезпечує максимальну сипкість і відповідно надійну роботу дозуючих пристроїв. Стабільний стехіометричний склад, дрібноглобулярна структура сприяють підвищенню твердості і міцності сферичних гранул карбиду вольфраму [5]. Ці чинники зумовили широке застосування сферичного реліту для плазово-порошкового наплавлення різних зносостійких деталей.

Плазово-порошкове наплавлення щілинних кілець розвантажувального пристрою насосів виконували на роботизованому спеціалізованому обладнанні фірми «Плазма-Майстер» (рис. 2). Наплавлення виконували на кільце зі сталі 08X21H6M2T розмірами діаметром 358/278 товщиною 30 мм. Зварювальні матеріали: сферичний карбід вольфраму марки КВС-1 по ТУУ 24.1-19482355-001, матрична зв'язка – порошок марки ПГ-СР2 ГОСТ 21448-75. Самофлюсуючий сплав ПГ-СР2 на нікелевій основі має низьку температуру плавлення (1000...1100 °С), добре змочує зерна реліту і має високу зносостійкість [6].

В процесі відпрацювання технології наплавлення визначили оптимальні режими процесу, схему подачі реліту та матричного порошку. Вміст реліту в суміші підтримували близько 50 об. %. За даними роботи [6] перевищення зазначеного оптимального вмісту реліту змушує суттєво збільшувати струм наплавлення, що призводить до помітного розчинення частинок реліту, охрупчуванню



Рис. 2. Установка для плазмово-порошкового наплавлення РМ-302

матриці і, як наслідок, зниження зносостійкості. При цьому мікротвердість нерозчинених частинок реліту – 180...190 МПа, для напіврозчинених частинок реліту вона становить 130...160 МПа [6]. Макротвердість наплавлення після шліфувки її поверхні на робочу висоту (2...3 мм) знаходиться в межах *HRC* 50...56. Вміст реліту на робочій поверхні напавленого металу більше 50 об. % (рис. 3). Розроблена технологія забезпечує високу якість напавлених кілець (рис. 4) і успішно реалізована в насособудуванні.

Наведені вище технології напавлення дозволяють отримати на робочій поверхні щілинних кілець композиційні шари з армуванням карбідами вольфраму в обсязі 40...60 об. %. Крім цих способів напавлення при отриманні композиційних шарів в даний час використовується пічний метод напавлення. При пічному напавленні зерна реліту розташовані в композиційному шарі рівномірно і практично відсутнє їх часткове підпавлення. Для пічного напавлення щілинних кілець використовували зерновий реліт по

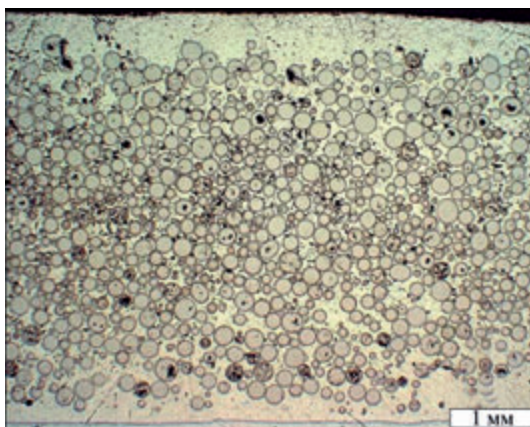


Рис. 3. Мікроструктура металу, напавленого плазмово-порошковим методом з використанням сферичного реліту

ТУ У 322-19-005-96, а в якості зв'язки хромонікелеві порошки по ТУ У 323-19-004-96. Робоча товщина покриття становить 1,5...2,0 мм. Об'ємна частка зерен реліту в зносостійкому покритті знаходиться в межах 80...90 %.

У вітчизняному насособудуванні застосовуються всі три способи нанесення на щілинні кільця композиційного армованого релітом шару: електродугове, плазмово-порошкове та пічне напавлення. Вибір способу напавлення визначається можливостями виробництва, умовами експлуатації насосів та економічними факторами. У технологічному процесі електродугового напавлення щілинних кілець використовується, в основному, універсальне зварювальне обладнання: малогабаритний маніпулятор, зварювальна головка з коливаючим механізмом та дозуючий пристрій для подачі реліту. Плазмово-порошкове напавлення з самого початку впроваджено на обладнанні фірми «Плазма-Майстер» з використанням сферичного реліту. Вартість сферичного



Рис. 4. Щілинне кільце, напавлене плазмово-порошковим методом

реліта значно вище колотого, але в цілому переваги застосування даного процесу очевидні:

- стабільність, висока технологічність процесу наплавлення;
- рівномірний розподіл зерен реліту на робочій поверхні щілинних кілець;
- істотне зниження кількості підплавлених зерен реліта;
- матрична зв'язка на нікелевій основі сама по собі має високу зносостійкість;
- відсутність дефектів, властивих зернам колотого реліту.

Композиційний зносостійкий шар, армований сферичним релітом в обсязі не менше 50 об. % при плазово-порошковому наплавленні щілинних кілець збільшує ресурс експлуатації насосів, в тому числі в умовах зростаючих навантажень і підвищення корозійного і ерозійного впливу.

Пічне наплавлення є достатньо складним технологічним процесом, але воно до переваг плазово-порошкового методу додає важливу властивість композиційного наплавленого металу – забезпечує більш щільну упаковку реліту в матричному розплаві. Наявність понад 80 % сферичного реліту на робочій поверхні щілинних кілець значно підвищує їх зносостійкість і дозволяє успішно їх використовувати при експлуатації насосів в жорстких умовах.

В однакових умовах експлуатації насосів ресурс експлуатації торцевих щілинних кілець послідовно значно зростає при застосуванні наплавлення спла-

вами на основі кобальту типу Стелліт 6; композиційними сплавами, армованими релітом – електродугового, плазово-порошкового та пічного. При цьому значно кращі результати одержані при використанні у якості твердої фази сферичного реліту.

Список літератури

1. Малишенко В.В., Михайлов О.К. (1981). *Енергетичні насоси. Довідковий посібник*. Москва, Енергоіздат, сс. 23–29.
2. Рябцев І.О., Сенченков І.К. (2013) *Теорія і практика наплавочних робіт*. Київ, Екотехнологія.
3. Косторной О.С., Лактіонов М.О. (2020) Дугове та плазово-порошкове наплавлення ущільнювальних поверхонь робочих коліс насосів. *Автоматичне зварювання*, **2**, 57–60. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.02.10>
4. Gulich, J. *Centrifugal Pumps*, Second Edition (2008, 2010).
5. Жудра О.П. (2014) Наплавлювальні матеріали на основі карбідів вольфраму. *Автоматичне зварювання*, **6-7**, 69–74.
6. Сом О.І. (2004) Плазово-порошкове наплавлення композиційних сплавів на базі литих карбідів вольфраму. *Там само*, **10**, 49–54.

References

1. Maliushenko, V.V., Mikhailov, O.K. (1981) *Energy pumps: Refer. book*. Moscow, Energoizdat, pp. 23-29 [in Ukrainian].
2. Ryabtsev, I.O., Senchenkov, I.K. (2013) *Theory and practice of surfacing works*. Kyiv, Ekotekhnologiya [in Ukrainian].
3. Kostornoy, O.S., Laktionov, M.O. (2020) Arc and plasma-powder surfacing of sealing surfaces of pump impellers. *The Paton Welding J.*, **1**, 57–60. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.02.10>
4. Gulich, J. (2008, 2010) *Centrifugal Pumps*, Second Ed.
5. Zhudra, A.P. (2014) Tungsten carbide based cladding materials. *Ibid.*, **6-7**, 69–74.
6. Som, A.I. (2004) Plasma-powder surfacing of composite alloys based on cast tungsten carbides. *Ibid.*, **10**, 43-47.

SURFACING PARTS OF UNLOADING DEVICE OF CENTRIFUGAL PUMPS

O.S. Kostornoj, M.O. Laktionov, K.Y. Kholosha

Joint-Stock Company «Research and Design Institute for Atomic and Power Pump-building».

2, 2nd Zheleznodorozhnaya Str., 40003, Sumy, Ukraine. E-mail: laktionov@vniiaen.sumy.ua

Leveling of axial forces on the shaft of centrifugal pumps depends on the characteristics of end slotted rings of the unloading device that determine the stability of the slit clearance between them. This work presents the methods to improve the wear resistance of mating surfaces between the slotted rings, by their surfacing with coatings from a composite alloy reinforced by tungsten carbides. The advantages and disadvantages of electric arc, plasma-powder and furnace surfacing of slotted rings are shown, and a significant improvement of the process at replacement of chipped tungsten carbide by spherical one is noted. 6 Ref., 4 Fig.

Keywords: slotted rings, tungsten carbides, wear resistance, arc surfacing, plasma-powder and furnace surfacing

Надійшла до редакції 10.12.2020

Нова книга

Кусков Ю.М., Рябцев І.А., Кузьменко О.Г., Лентюгов І.П. / Под общ. ред. И.А. Рябцева. **Электрошлаковые технологии наплавки и рециклинга металлических и металлосодержащих отходов**. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. – 2020. – 288 с.



В книге обобщен опыт ученых ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, других организаций стран СНГ и промышленно развитых стран в области разработки технологий, материалов и оборудования для ЭШН и электрошлаковых процессов рециклинга металлических и металлосодержащих отходов, т.е. возвращения отходов производства в круговорот «производство – потребление». Рассмотрены проблемы физико-химического взаимодействия электродного и присадочного металла и шлака и особенности этого взаимодействия в упомянутых электрошлаковых процессах. Описаны технологии и техника основных способов ЭШН и рециклинга, приведены примеры их промышленного применения. Рассмотрены дефекты, которые появляются при ЭШН в зоне сплавления и в наплавленном металле, рассмотрены причины их появления, описаны меры по их предупреждению. Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занятых в области наплавочного и сварочного производства. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам технических университетов.