

# МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.9.048

DOI: 10.31471/1993-9965-2022-1(52)-7-14

## НОВИЙ СПОСІБ СКЛАДАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЮВАННЯ

О. П. Гапонова, В. С. Марцинковський, Н. В. Тарельник, В. М. Зубко, М. Ю. Думанчук\*

Сумський національний аграрний університет; 40000, м. Суми, вул. Герасима Кондратьєва, 160;

e-mail: admin@sna.u.edu.ua

Вирішується проблема вибору конструкційних матеріалів для використання їх як проміжних шарів при складанні відповідальних спряжень підшипників ковзання (ПК), які застосовують у відцентрових насосах ядерних енергетичних установок (ЯЕУ) різних типів. При цьому серед інших основних умов необхідно брати до уваги: число й величину циклічних змін механічних навантажень; нейтронне опромінення та вплив теплоносія на корозію і корозійно-механічну міцність матеріалів. У ході аналізу способів складання ПК роторних машин, а також вимог до обладнання, що працює в умовах радіаційного опромінювання, виявлено резерви щодо покращення способів складання ПК відцентрових насосів, які працюють на АЕС. Задачу вирішують тим, що у способі складання ПК, який полягає в установленні корпусу і вкладишів підшипника (ВП), що охоплюють вал, в посадочних місцях з подальшим складанням підшипникового вузла, при якому установлення корпусу і ВП виконують після нанесення принаймні на одну з контактуючих поверхонь корпусу та/або ВП технологічного покриття методом електроіскрового легування (ЕІЛ) з подальшим нанесенням на леговану поверхню армованого металополімерного матеріалу (МПМ) та його полімеризацією. Покриття з нікелю наносять методом ЕІЛ при енергії розряду  $W_p < 0,13 \text{ Дж}$  і продуктивності  $1,0-2,5 \text{ см}^2/\text{хв}$ , а леговану поверхню покривають МПМ, армованим порошком нікелю, до 60%. Підшипник складають, не чекаючи завершення процесу полімеризації МПМ. При цьому залишки МПМ після стискання контактуючих поверхонь видаляють серветкою. Металографічними і дюрOMETричними дослідженнями встановлено, що структура технологічного покриття на елементах ПК із корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т складається з чотирьох зон. Зверху – зона темного кольору з МПМ, армованим порошком нікелю, товщиною 50-60 мкм і з мікротвердістю в межах 700-1000 МПа. Нижче розташований «білий» шар товщиною до 20 мкм мікротвердістю до 4800 МПа. Ще нижче знаходиться перехідна (дифузійна) зона, мікротвердість якої поступово знижується і на глибині близько 150-160 мкм досягає мікротвердості основи – 1700 МПа. Порівняльними дослідженнями встановлено, що застосування нового способу складання ПК, коли технологічне покриття наносять одночасно на верхню поверхню ВП і нижню поверхню – ложе корпусу, дає змогу на 100% скоротити період припрацювання бабітового ВП до цапфи ротора відцентрового насоса.

Ключові слова: ядерна енергетика, відцентровий насос, підшипник ковзання, покриття, електроерозійне легування, металополімерні матеріали.

The article solves the problem of choosing construction materials for the formation of intermediate layers, which can be used in the sliding bearing (SB) responsible joints assembly of different types nuclear power plants (NPPs) centrifugal pumps. The following are taken into account as the main conditions: the number and magnitude of cyclic changes in mechanical loads; neutron irradiation and the effect of coolant on corrosion and corrosion-mechanical strength of materials. Analysis of the rotary machines SB assembling methods and the requirements for equipment, operating in radiation conditions allowed to identify reserves for improving of NPP centrifugal pumps SB assembling methods. The solution to the problem is that when assembling the SB, before installing the bearing liners (BL), on the housing and/or BL contact surfaces form a technological coating by electrospark alloying (ESA)

with subsequent application to the alloy surface of reinforced metal polymer material (MPM) and its polymerization. Nickel coatings are applied by ESA at a discharge energy  $W_p < 0.13 \text{ J}$  and a productivity of  $1.0\text{-}2.5 \text{ cm}^2/\text{min}$ , and the alloyed surface is covered with MPM, reinforced with Nickel powder up to ~60%. Assembly of the bearing is carried out without waiting for the polymerization of MPM, while the remnants of MPM after compression of the contact surfaces are removed with a napkin. Metallographic and durometric studies have shown that the structure of the technological coating on the SB elements made of corrosion-resistant stainless steel 12Kh18N10T consists of 4 zones. On top is a dark zone with MPM reinforced with Nickel powder, 50-60  $\mu\text{m}$  thick and with a microhardness in the range of 700-1000 MPa. Below is a "white" layer up to 20  $\mu\text{m}$  thick with a microhardness of up to 4800 MPa. Even lower is the transition (diffusion) zone, in which the microhardness gradually decreases and at a depth of about 150-160  $\mu\text{m}$  reaches the microhardness of the base - 1700 MPa. Comparative studies have shown that the use of a new SB assembling method, when the technological coating is applied simultaneously to the upper surface of the BL and the lower surface - the "bed" of the housing, allows to reduce by 100% the running-in period of the centrifugal pump rotor pins babbit.

Key words: nuclear energy, centrifugal pump, sliding bearing, coating, electrospark alloying, metal-polymer materials.

### **Вступ**

На сьогодні внесок ядерної енергетики у світове виробництво електроенергії перевищує 18 %, причому у понад 10 країнах він становить від 40 до 80 %. До таких країн відноситься й Україна. Сьогодні в Україні працює чотири АЕС, на яких діють 15 енергоблоків типу ВВЭР (водо-водяний енергетичний реактор) загальною потужністю 13880 МВт. Аналіз енергетичних потреб країни й можливостей їх задоволення свідчать про доцільність і необхідність розвитку в Україні атомної енергетики. Вибір саме такого шляху відповідає й світовій тенденції [1].

Електроенергетика є одним з основних споживачів насосного обладнання (НО). На будь-якій електростанції експлуатується велика кількість найрізноманітніших насосів. Незалежно від типу реакторів і технологічних схем ядерних енергетичних установок одним з обов'язкових видів обладнання є насоси, які забезпечують циркуляцію охолодженого середовища в першому, другому й допоміжному контурах. Надійність експлуатації реактора, його працездатність у нормальних, перехідних та аварійних режимах залежать від забезпечення циркуляції охолоджувального середовища, тобто від працездатності насосів [2].

Найважливішими задачами ремонтно-обслуговуючого виробництва АЕС є підтримання працездатності та відновлення ресурсу машин і устаткування, забезпечення їх високої надійності і можливості ефективного використання.

Одним з найбільш відповідальних вузлів відцентрового насоса є підшипники ковзання (ПК). В свою чергу, надійність ПК за інших рівних умов значною мірою залежить від способів проведення монтажних робіт.

Таким чином, під час відновлення відповідальних деталей НО, таких як ПК для АЕС, виникають значні труднощі, подолання яких є актуальним та своєчасним.

### **Постановка проблеми**

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

У процесі виготовлення корпусів і вкладишів підшипників, а також шийок підшипників – цапф (наприклад, роторів компресорів і насосів) неможливо уникнути відхилень від їх ідеальної геометричної форми. Ці відхилення називаються похибками. Додаткові неточності привносяться при установленні ротора. Накопичення похибок значно знижує реальну площу контактування цапфи і вкладишів підшипника, що спричиняє перенапруження антифрикційного шару, особливо в період припрацювання. Крім того, поверхня вкладишів і контактуюча з нею поверхня, так зване «ложе» під вкладишами в місцях незадовільного прилягання, а також шийка валу підшипника ковзання можуть піддаватися щілинній (рис. 1) і фретинг-корозії (Ф-К)[3].

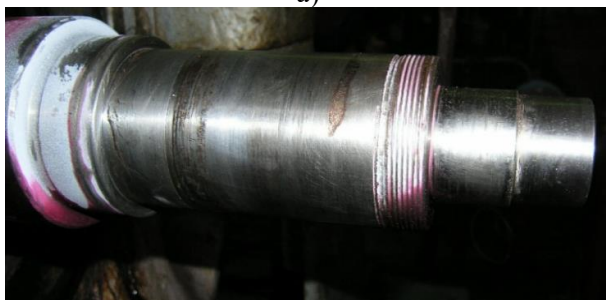
Відповідно до [4] опір утомі антифрикційного шару залежить від режиму роботи і конструкції підшипника, фізичних властивостей сполучення шару з основою, жорсткості валу і посадочного місця підшипників. Недостатня жорсткість валу, корпусів і ложа підшипника може стати причиною перекосів цапф відносно підшипників і концентрації навантаження по краю підшипника.

Результатом підвищеного кромкового тиску на підшипниках може бути утворення тріщин або пластичний зсув м'якого сплаву. При незадовільному приляганні вкладишів підшипника до контактуючої поверхні (ложа) нецільно прилягаючі ділянки вкладишів

прогинаються; одночасно перевантажується решта робочої поверхні. Площа фактичного контакту поверхонь складається з безлічі малих дискретних майданчиків, розташованих на різних висотах плям дотику в місцях найщільнішого зближення поверхонь, і залежить від мікро- і макрогеометрії поверхонь, хвилястості, фізико-механічних властивостей поверхневого шару і від навантаження.



а)



б)

**Рисунок 1 – Поверхня вкладиша ПК, пошкоджена щільною корозією (а), і фреттинг-корозія шийки ротора (б)**

Збільшення податливості однієї з деталей сполученого вузла може позитивно впливати на його надійність і довговічність. Згідно з [5] податливістю розуміють здатність деталі витримувати деформації за межами пружності із збереженням несучої спроможності. Це надзвичайно важлива властивість для масивних деталей тертя, наприклад підшипників ковзання, гальмівних колодок та ін. Висока податливість матеріалу або виробу сприяє хорошему приляганню поверхонь, забезпечуючи високу ефективність його роботи, надійність і зносостійкість.

Відомий спосіб складання підшипника ковзання, який полягає в установленні корпусу і вкладиша, що охоплює вал, в посадочних місцях, їх кріпленні і подальшому складанні підшипникового вузла (патент РФ № 2044174).

Недоліком даного способу складання є складність його здійснення. Вказаний спосіб передбачає застосування розрізного пружного

корпусу підшипника, виготовленого зігнутим за формою посадочного місця. Технологічний процес складання включає трудомістку операцію розгинання корпусу підшипника перед його установленням в посадочному місці при досить складному процесі кріплення.

Найближчим до винаходу за технічним результатом є спосіб складання підшипника ковзання [6], який полягає в установленні корпусу і вкладишів, що охоплюють вал, в посадочних місцях з подальшим складанням підшипникового вузла, при якому установлення корпусу і вкладишів у посадочних місцях виконують після того, як принаймні на одну з контактуючих поверхонь корпусу та/або вкладишів підшипника наносять технологічне покриття з м'яких податливих металів та їх сплавів (мідь, олово, срібло, індій, бабіт). При цьому покриття товщиною 0,05-0,12 мм, наносять методом електроіскрового легування (ЕІЛ) при енергії розряду  $W_p = 0,04-0,08$  Дж і продуктивності 0,5-0,8  $\text{см}^2/\text{хв}$ .

У [7] вказано, що порівняно з енергетичними установками на органічному паливі, умови роботи матеріалів в атомних енергетичних установках є, зазвичай, більш складними. При виборі конструкційних матеріалів для ядерних енергетичних установок (ЯЕУ) різних типів серед інших основних умов необхідно брати до уваги: число й величину циклічних змін механічних навантажень; нейтронне опромінення й вплив теплоносія на корозію й корозійно-механічну міцність матеріалів.

Для послаблення впливу перенесених активних продуктів корозії на умови ремонту обладнання першого контуру в ряді випадків для сталі регламентується вміст елементів, які внаслідок опромінення стають джерелом небезпечних довгоживучих ізотопів. Насамперед, це стосується кобальту. Також відомо, що кобальт, який має великий період напіврозпаду, неприпустимо використовувати в ущільненнях насосів атомних електростанцій. Якщо замість кобальтової зв'язки використовувати нікель, то цього не відбувається [8].

Згідно з [9], хімічний склад матеріалів деталей, що стикаються з теплоносієм, не повинні містити спеціальних добавок кобальту та інших елементів, що утворюють довгоживучі ізотопи в активному робочому середовищі. Крім того, застосовуваними у згаданому вище способі [6] матеріалами (мідь, олово, срібло, індій, бабіт) не можна покривати контактуючі поверхні деталей, щоб

забезпечити їх податливість та краще прилягання і тим самим покращувати ефективність роботи, надійність і зносостійкість сталевих деталей машин, що працюють на атомних електростанціях.

У разі використання як електроду-інструменту м'яких антифрикційних матеріалів з міді, олова, срібла індію і бабіту, найбільшого значення тимчасового опору ( $\sigma_b$ ) набуває мідь – 360 МПа [10]. Але в [7] стверджується, що при прийнятих на цей час значеннях товщини корпусів і нормативних коефіцієнтів запасу міцності конструкційні реакторні матеріали повинні мати за робочої температури межу міцності не менше 400 МПа з тенденцією до збільшення цієї характеристики.

Згідно з [11], при застосуванні методу ЕІЛ твердість поверхні сталевих деталей можна збільшити або зменшити, використовуючи як електрод-інструмент твердий або м'який метал.

Отже, спосіб складання ПК, описаний у [6], має суттєві недоліки:

- тимчасовий опір ( $\sigma_b$ ) матеріалів, що використовують як покриття (мідь, олово, срібло, індію і бабіт), значно менший за 400 МПа, що згідно [7] менше допустимого;

- використання міді, олова, срібла, індію і бабіту для покриття поверхні методом ЕІЛ суттєво зменшує твердість поверхневого шару [11], що, в свою чергу, знижує надійність і довговічність з'єднань контактуючих деталей;

- при нанесенні методом ЕІЛ міді, олова і бабіту шорсткість поверхні контактуючих деталей Rz досягає відповідно 27; 37 і 43 мкм і не забезпечує необхідного прилягання, що знижує надійність та довговічність підшипника;

- при ЕІЛ індієм і сріблом товщина покриття не перевищує відповідно 0,02 і 0,035 мм, що недостатньо для забезпечення необхідної податливості деталей в спряженні.

Для усунення деяких недоліків контактуючих поверхонь при складанні може бути корисним спосіб відновлення поверхонь металевих деталей, який включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття ЕІЛ металевим електродом на режимах, що забезпечують задану шорсткість оброблюваної поверхні. При цьому на отриману поверхню наносять принаймні один шар металополімерного матеріалу (МПМ) і після його полімеризації виріб піддають фінішній обробці [12]. Недоліками даного способу є: низька твердість металополімерних матеріалів; металополімерні матеріали добре працюють на стискання і значно гірше на зсув.

Твердість МПМ можна збільшити шляхом їх армування порошком з твердих зносостійких металів. Згідно з [13] МПМ армують твердим сплавом ВК6. Однак цей порошок, на жаль, має у своєму складі 6% кобальту, тому його не можна використовувати у технологіях складання ПК для обладнання, що застосовують на АЕС. У цьому випадку для армування мають бути застосовані порошки металів, які не утворюють довгоживучі ізотопи в активному робочому середовищі, наприклад хром, молібден, нікель та ін. Для нікелю показник  $\sigma_b$  становить 450 МПа [10].

В ядерній енергетиці для створення циркуляції теплоносія використовують головні циркуляційні насоси, ПК для яких виготовляють зі сталі 12Х18Н10Т [14].

При використанні електроду-інструменту з нікелю для ЕІЛ деталей з нержавіючих сталей при енергії розряду ( $W_p$ ), що перевищує 0,13 Дж, електрод-інструмент починає прилипати до оброблюваної поверхні, що, у свою чергу, спричинює зниження суцільності нанесеного шару, погіршуючи якість нанесеного покриття.

Таким чином, на підставі проведеного аналізу існуючих методів підвищення якості деталей НО, що працює в умовах опромінювання, сформульована мета роботи.

**Метою роботи** є створення більш простого та ефективного способу складання ПК відцентрових насосів, що працюють в умовах радіаційного опромінювання, шляхом удосконалення технології їх складання за рахунок використання екологічно безпечних матеріалів, які наносять на спряженні поверхні екологічно безпечними методами ЕІЛ і МПМ.

#### **Методика досліджень**

Для виконання мети дослідження нами був запропонований новий спосіб складання ПК [15].

На установці моделі «Елітрон-22А» на зразки розміром 15x15x8 мм зі сталі 12Х18Н10Т з твердістю 1700 МПа методом ЕІЛ наносили покриття електродом-інструментом із нікелевого дроту марки НП-2 (ОСТ 4.021.109-92) діаметром 2,5 мм і довжиною 3,0 мм при енергії розряду  $W_p = 0,1$  Дж і продуктивності 1,0-2,0  $\text{см}^2/\text{хв}$ . Поверхні зразків перед обробкою ЕІЛ шліфували до шорсткості  $Ra = 0,5$  мкм.

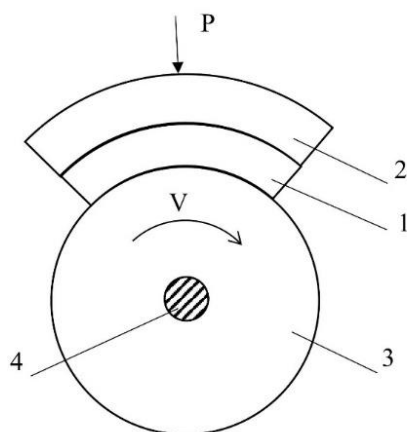
Як армований матеріал використовували електролітичний порошок нікелю марки ПНЕ (ДСТ 9722-97), який додавали до металополімерного матеріалу невеликими

порціями. При цьому після кожного додавання отримували суміш у вигляді пасти, яку ретельно перемішували, доводячи концентрацію порошку нікелю до ~60 % перед нанесенням на леговане методом ЕІЛ покриття. Подальше збільшення концентрації порошку нікелю ускладнювало перемішування і не гарантувало повного обволікання окремих його частинок металополімерним матеріалом. Приготовану у такий спосіб консистентну речовину, ретельно втираючи, наносили на сформоване методом ЕІЛ покриття з нікелю.

Для дослідження параметрів якості покриттів, металографічних і дюрOMETричних досліджень із зразків з нанесеним покриттям виготовляли шліфи. Під час виготовлення поверхня шліфа була орієнтована перпендикулярно до поверхні з покриттям. Щоб уникнути крайового ефекту під час легування, перед виготовленням шліфа торець зразка фрезерували на глибину не менше 2 мм. Виготовлений шліф піддавали хімічному травленню для виявлення структури в реактиві.

Одночасно проводили дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі і за глибиною шліфа від поверхні. Вимірювали мікротвердість на мікротвердомері ПМТ-3 втискуванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н згідно з ГОСТ 9450-76.

Порівняльні дослідження проводили на машині тертя СМЦ-2 на зразках у вигляді колодок, 1 і 2 та диску 3 (рис. 2).



1 – колодка 1 (вкладиш підшипника);  
2 – колодка 2 (корпус підшипника);  
3 – диск (цапфа); 4 – вал машини тертя СМЦ 2  
**Рисунок 2 – Схематичне зображення процесу досліджень на здатність до припрацювання**

Виготовлені зі сталі 20, колодки 1 і 2 виконували роль вкладишу між ПК і корпусом підшипника. Таким чином, зовнішня поверхня

колодки 1 контактує з внутрішньою поверхнею колодки 2, яка виконує роль «ложа».

На колодку 1 (вкладиш підшипника), що охоплює диск діаметром 50 мм і товщиною 10 мм, який виконує роль цапфи, нанесене покриття з бабіту Б83, а колодка 2 (корпус підшипника) охоплює колодку 1 (рис. 2). При цьому відповідно до запропонованого способу розглядали три варіанти нанесення покриття з нікелю методом ЕІЛ і МПМ, армованого нікелем, відповідно до зазначеної вище методики:

1 – й варіант - на верхню поверхню («спинку») колодки 1;

2 – й варіант - на нижню поверхню колодки 2 («ложе» корпусу);

3 – й варіант - на верхню поверхню («спинку») колодки 1 і нижню поверхню колодки 2 («ложе» корпусу).

Колодки 1 досліджували на здатність до припрацювання поверхні з бабітовим покриттям, що контактує з поверхнею диску.

Змащення поверхонь тертя проводилось в умовах, коли нижня частина диску знаходилась у ванночці з турбінною оливою Т-22. Швидкість ковзання складала 0,78 м/с, питомий тиск – 5,0 МПа, навантаження на колодку – 1000 Н. Перед випробуваннями колодку 1 розточували на токарному верстаті у спеціальному пристосуванні до збігу поверхні тертя з допуском на діаметр, що відповідає посадці ковзання. Далі колодку 1 і диск встановлювалися на машину тертя МНЦ-2 і припрацьовували. Площу припрацьованої поверхні бабіту на колодці 1 визначали кожні 20 хв. випробувань візуально за співвідношенням припрацьованої поверхні до початкової.

### Результати дослідження

На рис. 3 зображено структуру поверхневого шару зразка зі сталі 12Х18Н10Т з нанесеним комбінованим покриттям з нікелю методом ЕІЛ і МПМ, армованого нікелем, а також розподіл мікротвердості у міру поглиблення.

Структура поверхневого шару складається з 4-х зон: темна зона, «білий» шар, дифузійна зона і основа. Зверху знаходиться зона темного кольору, яка складається з МПМ, армованого порошком нікелю. Мікротвердість в цій зоні знаходиться в межах 700-1000 МПа, а товщина 50-60 мкм. Нижче розташована зона світлого кольору, вона представляє собою «білий» шар – який не піддається травленню звичайними реактивами. Його товщина в деяких ділянках

досягає 20 мкм, а мікротвердість 4800 МПа. Ще нижче розташована перехідна зона (дифузійна), в якій мікротвердість поступово знижується, і на глибині близько 150-160 мкм досягає мікротвердості основи – 1700 МПа.

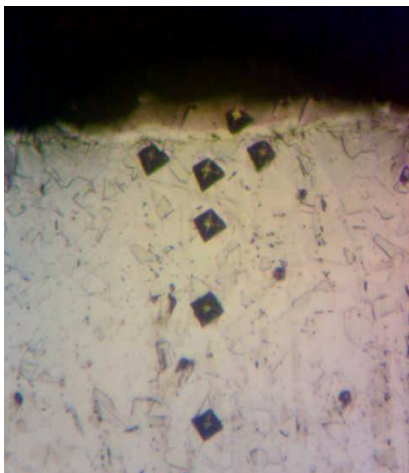
Слід відмітити, що покриття з нікелю, нанесені методом ЕЛІ, і МПМ, армованого нікелем, виконують роль технологічного покриття. Складання ПК проводять, не чекаючи полімеризації МПМ. Залишки МПМ після стискання контактуючих поверхонь видаляють серветкою. При стисканні МПМ легко деформується і заповнює всі порожечки між спряженими поверхнями, доводять площу контактуючих поверхонь до 100% і, таким

коли технологічне покриття наносять одночасно на верхню поверхню вкладишу і нижню поверхню – «ложе» кор-пусу.

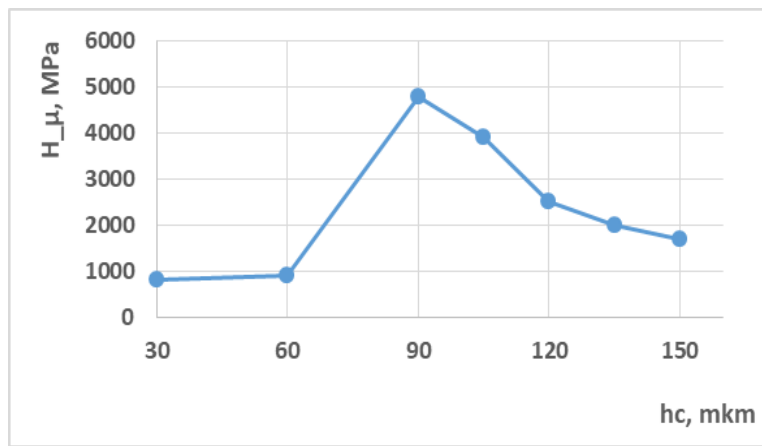
Слід відмітити, що запропонований спосіб складання ПК може використовуватись не тільки на обладнанні, що підлягає радіаційному опромінюванню, але й за умов будь-якого традиційного застосування.

**Висновки**

1. Аналіз способів складання підшипників ковзання роторних машин, а також вимог, які висувають до обладнання, що працює в умовах радіаційного опромінювання, дав змогу виявити резерви щодо покращення способів



а



б

**Рисунок 3 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару (б) зразка сталі 12Х18Н10Т з комбінованим покриттям з нікелю, нанесеним методом ЕЛІ і МПМ, армованого нікелем**

**Таблиця 1 – Час припрацювання (хв.) колодок (бабітових вкладишів підшипника) без технологічного і з технологічним покриттям**

Номер варіанту	Площа припрацювання, %			
	20	40	60	80
1-й варіант (без технологічного покриття)	70	80	90	100
1-й варіант(з технологічним покриттям)	80	90	100	
2-й варіант (з технологічним покриттям)	80	90	100	
3-й варіант (з технологічним покриттям)	80	100		

чином. нівелює усі похибки і відхилення геометрії і топографії поверхонь від потрібної (ідеальної).

Результати випробувань зведені в табл. 1.

Аналіз таблиці показав, що колодки (вкладиші ПК) без технологічного покриття прироблюються повністю на 100 % за 80 хв., а з технологічним покриттям, коли воно наноситься на зовнішню поверхню вкладишу або внутрішню поверхню корпусу («ложе») за 60 хв. Найкращі результати за час припрацювання (40 хв.) отримані в варіанті,

складання ПК, відцентрових насосів, які працюють на АЕС.

2. Металографічними і дюрOMETричними дослідженнями встановлено, що структура технологічного покриття на елементах ПК із корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т складається з 4-х зон. Зверху знаходиться зона темного кольору з МПМ, армованого порошком нікелю, товщиною 50-60 мкм і з мікротвердістю в межах 700-1000 МПа. Нижче розташований «білий» шар товщиною до 20 мкм з мікротвердістю до 4800 МПа. Ще нижче

знаходиться перехідна (дифузійна) зона, мікротвердість якої поступово знижується і на глибині близько 150-160 мкм досягає мікротвердості основи – 1700 МПа.

3. Порівняльними дослідженнями встановлено, що використання нового способу складання ПК, коли технологічне покриття наносять одночасно на верхню поверхню вкладиша і нижню поверхню – «ложе» корпусу, дозволяє на 100% скоротити період прироблення бабітового вкладишу до цапфи ротора відцентрового насоса.

Література

1. Маляренко В. А., Лисак Л.В. Энергетика, довкілля, енергозбереження / Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка. Х.: Рубікон, 2004. 368 с.
2. Шелегов А. С., Лескин С. Т., Слободчук В. И. Насосное оборудование АЭС: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: НИЯУ «МИФИ», 2011. 346 с.
3. Тарельник В., Марцинковский В., Антошевский Б.. Повышение качества подшипников скольжения: Монография. Сумы: Издательство «МакДен», 2006. 160 с.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1989. 327 с.
5. Словник-довідник по тертя, зносу і змащенню деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровінський, Э.Д. Браун. К.: Наукова думка, 1990. 264 с.
6. Пат. на винахід № 95009, F16C 9/00. В.С. Україна. Спосіб складання підшипника ковзання / В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, Н.В. Тарельник. Опубл. 25.06.2011, бюл. № 12.
7. Баландин Ю. Ф., Горынин И. Б., Звездин Ю. И., Мирков Б. Г.. Конструкционные материалы АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1984. 280 с.
8. Майер Э. Торцовые уплотнения. М.: Машиностроение, 1978. 288 с.
9. Шелегов А. С., Лескин С. Т., Слободчук В. И. Насосное оборудование АЭС: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: НИЯУ "МИФИ", 2011. 346 с.
10. Металлы и сплавы : справочник / В.К. Афонин, Б.С. Ермаков, Е.Л. Лебедев, Е.И. Пряхин, Н.С. Самойлов, Ю.П. Солнцев, В.Г. Шипша ; ред. Ю.П. Солнцев. СПб.: НПО "Профессионал": НПО Мир и Семья, 2003. 1090 с.
11. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штинца, 1985. 196 с.
12. Пат. на винахід 104664. Україна. МПК В23Н 5/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти) / Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Іщенко А.О.; Опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.
13. Пат. на корисну модель №131805. Україна. МПК В23Н 5/02. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі / Тарельник В. Б. Марцинковський В.С., Гапонова О.П.,

Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Павлов О.Г., Саржанов Б.О. (UA), Антошевський Богдан (PL) .Опубл. 25.01. 2019, Бюл. №2.

14. Пат. на корисну модель №150213. Україна. МПК В23Н 6/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь сталевих деталей обладнання, яке підлягає радіаційному опромінюванню / Тарельник Н.В. (UA). Опубл. 12.01. 2022, Бюл. №2.
15. Пат. на корисну модель №150743. Україна. МПК В23Н 5/00 Спосіб складання підшипників ковзання / Тарельник Н.В. (UA). Опубл. 06.04. 2022, Бюл. №2.

References

1. Maliarenko V. A., Lysak L.V. Enerhetyka, dovkillia, enerhozberezhennia / Pid zah. red. prof. V. A. Maliarenka. Kh.: Rubikon, 2004. 368 p. [in Ukrainian]
2. Shelegov A. S., Leskin S. T., Slobodchuk V. I. Nasosnoe oborudovanie AES: uchebnoe posobie dlya studentov vyisshih uchebnyih zavedeniy. M.: NIYaU «MIFI», 2011. 346 p. [in Russian]
3. Tarelnik V., Martsinkovskiy V., Antoshevskiy B.. Povyishenie kachestva podshpnikov skolzheniya: Monografiya. Sumy: Izdatelstvo «MakDen», 2006. 160 p. [in Russian]
4. Garkunov D.N. Tribotekhnika. M.: Mashinostroenie, 1989. 327 p. [in Russian]
5. Slovnyk-dovidnyk po tertiu, znosu i zماشchenniu detalei mashyn / V.D. Zozulia, E.L. Shvedkov, D.Ia. Rovinskyi, Э.D. Braun. Kyiv: Naukova dumka, 1990. 264 p. [in Ukrainian]
6. Pat.na vynakhid № 95009, F16C 9/00. V.S. Ukraina. Sposib skladannia pidshypnyka kovzannia / V.S. Martsynkovskiyi, V.B. Tarelnyk, N.V. Tarelnyk. Opubl. 25.06.2011,biul. No 12. [in Ukrainian]
7. Balandin Yu. F., Goryinin I. B., Zvezdin Yu. I., Mirkov B. G.. Konstruktsionnyie materialyi AES. M.: Energoatomizdat, 1984. 280 p. [in Russian]
8. Mayer E. Tortsovyie uplotneniya. M.: Mashinostroenie, 1978. 288 p. [in Russian]
9. Shelegov A. S., Leskin S. T., Slobodchuk V. I. Nasosnoe oborudovanie AES: uchebnoe posobie dlya studentov vyisshih uchebnyih zavedeniy. M.: NIYaU "MIFI", 2011. 346 p. [in Russian]
10. Metallyi i splavyi : spravochnik / V.K. Afonin, B.S. Ermakov, E.L. Lebedev, E.I. Pryahin, N.S. Samoylov, Yu.P. Solntsev, V.G. Shipsha ; red. Yu.P. Solntsev. SPb. : NPO "Professional" : NPO Mir i Semya, 2003. 1090 p. [in Russian]



11. Gitlevich A.E., Mihaylov V.V., Parkanskiy N.Ya., Revutskiy V.M. Elektroiskrovoe legirovanie metallicheskih poverhnostey. Kishinev: Shtintsa, 1985. 196 p. [in Russian]

12. Pat. na vynakhid 104664. Ukraina. MPK V23N 5/00. Sposib vidnovlennia znoshenykh poverkhon metalevykh detalei (varianty) / Martsynkovskiy V.S., Tarelnyk V.B., Pavlov O.H., Ishchenko A.O.; Opubl. 25.02.2014, Biul. No 4. [in Ukrainian]

13. Pat. na korysnu model №131805. Ukraina. MPK B23H 5/02. Sposib vidnovlennia znoshenykh poverkhon detalei mashyn z nerzhaviiuchoi stali / Tarelnyk V. B. Martsynkovskiy V.S., Haponova O.P., Konoplianchenko Ye.V., Tarelnyk N.V., Pavlov O.H., Sarzhanov B.O. (UA), Antoshevskiy Bohdan (PL) .Opubl. 25.01. 2019, Biul. No 2. [in Ukrainian]

14. Pat. na korysnu model №150213. Ukraina. MPK B23H 6/00. Sposib vidnovlennia znoshenykh poverkhon stalnykh detalei obladnannia, yake pidlihaie radiatsiinomu oprominiuvanniu / Tarelnyk N.V. (UA). Opubl. 12.01. 2022, Biul. No 2. [in Ukrainian]

15. Pat. na korysnu model №150743. Ukraina. MPK B23H 5/00 Sposib skladannia pidshypnykiv kovzannia / Tarelnyk N.V. (UA) Opubl. 06.04. 2022, Biul. No 2. [in Ukrainian]