

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**Марцинковський
Василь Сігізмундович**

УДК 621.9.048.4

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКІВ
КОВЗАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТУРБОКОМПРЕСОРНИХ АГРЕГАТІВ**

Спеціальність 05.02.08 - технологія машинобудування

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Сумському національному аграрному університеті (СНАУ)
Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Тарельник В'ячеслав Борисович,
Сумський національний аграрний університет
(м. Суми), завідувач кафедри технічного сервісу.

Офіційні опоненти: заслужений діяч науки і техніки України, лауреат
Державної премії України, доктор технічних наук, професор
Мовшович Олександр Якович,
Науково-виробниче підприємство “Оснастка”
(м. Краматорськ), Міністерство промислової
політики України, заступник директора з наукової роботи;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Бородінов Володимир Олександрович,
Державне підприємство “Харківський науково -
дослідний інститут технології машинобудування”,
Міністерство промислової політики України,
перший заступник директора-головний інженер.

Захист відбудеться 26 червня 2008р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”
Міністерства освіти і науки України за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розіслано 26 травня 2008р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 64.050.12

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Високошвидкісні турбокомпресорні агрегати (ТКА) використовуються у газовій, нафтовій, хімічній та інших галузях промисловості. Потужність ТКА становить десятки МВт. Зі збільшенням потужності й коллоїд швидкості відцентрових компресорів ускладнюються умови експлуатації опорних і упорних підшипників ковзання (ПК).

Найбільш відповідальним і дорогим вузлом ТКА є ротор. Тертя між поверхнями підшипникових шийок вала (ШВ) ротора й вкладишів підшипників (ВП) спричиняє їх зношування. Величина цього зношування залежить від умов тертя, які визначаються рядом факторів: фізико-механічними властивостями матеріалів вала й ВП, формою й розмірами деталей, шорсткістю поверхонь тертя, швидкістю, навантажувальним і тепловим режимами пари тертя, способом підведення, кількістю і якістю змащування. Великий вплив на зношування поверхонь деталей має середовище, у якому вони працюють.

Прискорення зношування й розвитку ушкоджень тертьових поверхонь у післяприпрацювальному періоді залежить від наявності на поверхні тертя непоправних мікро-, а іноді й макроушкоджень, які утворилися під час припрацювання. Так, при використанні у тонкошарових підшипниках бабіту Б83 у кубічних кристалах SnSb утворюються мікротріщини, які згодом стають осередками розвитку тріщин уже в обсязі всього шару. Підшипникові сплави на основі міді мають підвищені механічні характеристики у порівнянні з бабітами. При використанні сплавів на основі міді пошкоджуваність підшипників проявляється у вигляді підвищеного зношування, гіршої припрацьовуваності й більшої імовірності утворення задирки. У зв'язку із цим виникає проблема формування як на бабітових, так і на бронзових ВП спеціальних покриттів, які поліпшують умови припрацювання.

Немаловажною проблемою під час виготовлення ВП є гарантоване забезпечення міцного зв'язку між підкладкою і бабітовим шаром.

Таким чином, завдання створення технології виготовлення ПК нового покоління з доброю припрацьовуваністю і несучою здатністю, високою надійністю, економічною витратою мастила й міцним зчепленням антифрикційного шару з підкладкою є актуальним і практично значущим.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до наукових планів кафедр «Механізація виробничих процесів» і «Технічний сервіс» Сумського національного аграрного університету. Наведені в дисертації результати пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт: «Розробка технології підвищення довговічності й надійності вузла тертя вал-підшипник» (номер державної реєстрації 0106U002612), «Розробка технології формування антифрикційних покриттів методом електроерозійного легування» (номер державної реєстрації 0107U002142) і «Розробка структурно-параметричної моделі спрямованого вибору технології

виготовлення підшипників ковзання» (номер державної реєстрації 0107U008647), у яких автор був керівником.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення якості поверхневих шарів підшипників ковзання високошвидкісних ТКА за рахунок цілеспрямованого вибору технології обробки елементів пар тертя, що дозволяє найбільш економічно забезпечувати необхідну якість підшипникових вузлів при виготовленні найбільш відповідальних деталей цього класу машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- систематизувати способи підвищення якості елементів пар тертя ПК машин, що працюють в умовах інтенсивних навантажень і швидкостей обертання;
- розробити систему спрямованого вибору технології виготовлення ПК високошвидкісних агрегатів;
- розвинути й удосконалити технології електроерозійного легування (ЕЕЛ) контактуючих поверхонь пар тертя в ПК високошвидкісних машин;
- розробити технологічні методи підвищення якості зчеплення антифрикційного шару вкладиша ПК із підкладкою;
- розвинути й удосконалити технології підвищення якості поверхонь тертя пари «вкладиш підшипника - шийка вала» високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів;
- впровадити результати дисертаційних досліджень у практику виготовлення ПК високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів.

Об'єктом дослідження є технологія виготовлення ПК.

Предметом дослідження є технологічні процеси формування електроерозійних покриттів, що підвищують якість ПК.

Методи дослідження. Метод системного аналізу дозволив досліджувати конструкторсько-технологічні вимоги до елементів ПК, а також існуючі методи підвищення їхньої якості.

Метод синтезу дозволив елементи ПК розбити на групи, для яких підвищення їхньої якості досягається різними технологіями ЕЕЛ.

Під час розроблення системи спрямованого вибору технології виготовлення ПК використовувалися: теорія графів, математична логіка, булева алгебра, математичне моделювання, як оптимізаційний метод використовувався метод мінімальних перетинів.

Металографічний аналіз зразків проводився з метою оцінки якості поверхневого шару, його суцільності, товщини й будови зон підшару. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості у поверхневому шарі й по глибині шліфа від поверхні.

Рентгеноструктурний аналіз складався з топографічного аналізу найбільш характерних ділянок і якісного рентгенівського мікроаналізу поверхневого шару для ідентифікації основних елементів у ньому.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому:

- уперше розроблена система цілеспрямованого вибору технології виготовлення ПК високошвидкісних ТКА, що дозволяє формувати поверхні пар тертя із заданими експлуатаційними властивостями;
- набула подальшого розвитку теорія електроерозійного легування елементів підшипника, що дозволило формувати поверхневі шари пар тертя ПК високошвидкісних машин з необхідними експлуатаційними характеристиками;
- доведено доцільність забезпечувати наявність підшару з міді й олов'яної бронзи під час нанесення антифрикційного бабітового шару й припрацювальних покриттів ПК, що істотно підвищує зносостійкість вузлів тертя;
- уперше визначений взаємозв'язок між технологією формування покриття, яка забезпечує підвищення надійності ПК, та експлуатаційними характеристиками підшипникових вузлів високошвидкісних ТКА.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи впроваджені на Одеському припортовому заводі (Україна); АТ «Азот», м. Черкаси (Україна); ТОВ «ТРИЗ», м. Суми (Україна); ВАТ «Гродно Азот», м. Гродно (Республіка Білорусь); ВАТ «НАК» Азот», м. Новомосковськ (Російська Федерація). Економічний ефект від реалізації отриманих результатів становить 134 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Автором на підприємстві ТОВ «ТРИЗ» впроваджені науково обгрунтовані рекомендації підвищення якості елементів ПК, які були покладені в основу розроблення нового технологічного процесу виготовлення підшипників високошвидкісних ТКА. За новою технологією у ТОВ «ТРИЗ» були виготовлені 16 опорних і 6 упорних ПК, які впроваджені у ВАТ «Гродно Азот» (ТКА 103J), АТ «Азот», м. Черкаси (ТКА С102), Одеському припортовому заводі (ТКА 103J) і ВАТ «НАК» Азот», м. Новомосковськ (ТКА 11ТК1).

Основні результати досліджень викладені у наукових працях, опублікованих самостійно: у 2 статтях у фахових виданнях, затверджених ВАК України для кандидатських дисертацій, та 1 патенті на винахід.

У працях, написаних у співавторстві, автором розроблені й теоретично обгрунтовані методики досліджень, оброблені й систематизовані отримані результати.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й схвалені на Міжнародній науково-практичній конференції “Передові компресорні технології - споживачу” (Суми, 2004); 13-й Міжнародній науково-технічній конференції по компресоробудуванню “Компресорна техніка й пневматика в ХХІ столітті” (Суми, 2004); П'ятому науково-технічному семінарі «Безпека експлуатації компресорного, насосного устаткування й трубопровідної арматури» (Одеса, 2004); 11-й Міжнародній науково-технічній конференції “Герметичність, вібронадійність і екологічна безпека насосного і компресорного устаткування” (Суми, 2005); Міжнародному науковому симпозиумі «Гидродинамическая теория смазки - 120 лет» (Орел, 2006); 10-й, 12-й - 14-й Міжнародних науково-методичних конференціях “Технології ХХІ століття” (Алушта, 2003, 2005, 2006, 2007).

У повному обсязі робота заслуховувалася на об'єднаному семінарі кафедр “Технологія машинобудування і металорізальні верстати” й “Інтегровані технології машинобудування” у Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут”, а також на кафедрі “Технологія машинобудування, верстати та інструменти” Сумського державного університету.

Публікації. Основні положення дисертації відображені у 22 наукових працях, з яких 2 монографії, 10 статей у виданнях, затверджених переліком ВАКу України, 6 статей за матеріалами конференцій, 4 патенти України.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації 222 сторінки, у тому числі 131 сторінка основного тексту, 13 ілюстрацій на 9 сторінках, 44 ілюстрації за текстом, 2 таблиці на 2 сторінках, 30 таблиць за текстом. Додатки наведені на 59 сторінках. Список використаних літературних джерел складається із 101 найменування на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована необхідність створення нового покоління ПК високошвидкісних ТКА, які мають високу надійність, добру несучу здатність, припрацьовуваність, міцне зчеплення антифрикційного шару з підкладкою. Сформульовано мету й завдання дослідження. Наведено основну інформацію про апробацію роботи, публікації і структуру дисертації.

У **першому розділі** викладені результати інформаційно-аналітичного огляду поточного стану проблеми, пов'язаної з підвищенням якості ПК для насосного й компресорного обладнання.

На підставі аналізу технології виготовлення й експлуатації ПК виявлені резерви її вдосконалення - підвищення якості зчеплення бабіту зі сталеву підкладкою за рахунок нанесення проміжного шару з міді або олов'яної бронзи й застосування припрацьовальних покриттів.

Формування проміжного шару, міцно зчепленого, з одного боку, зі сталеву підкладкою, а з іншого - із шаром олова (утворення твердих розчинів заміщення) і бабіту, забезпечить більш міцне зчеплення сталеву підкладки з бабітом, а також більш інтенсивне відведення тепла із зони тертя.

При виготовленні ВП і підшипникових ШВ роторів компресорів і насосів завжди є відхилення від їх ідеальної геометричної форми, які називаються похибками. Додаткові неточності привносяться під час установки ротора. Нагромадження похибок значно знижує реальну площу контакту ШВ і ВП, що є причиною перенапруги антифрикційного шару, особливо в період припрацювання.

Огляд літературних джерел показав, що в період припрацювання на бабітових ВП у кубічних кристалах SnSb можуть утворюватися мікротріщини, а на вкладишах із бронзи - більш сильні ушкодження (задирки або навіть захоплення поверхонь). У зв'язку із цим виникає необхідність формування як на бабітових, так і на бронзових ВП припрацювальних покриттів з м'яких антифрикційних матеріалів. Покриття пропонується наносити методом ЕЕЛ, який забезпечує міцне зчеплення нанесеного матеріалу з підкладкою.

Для здійснення припрацювання ВП немаловажну роль відіграє якість поверхні ШВ вала ротора. При зміцненні ШВ роторів, як правило, використовують комбіновану технологію ЕЕЛ з подальшим поверхневим пластичним деформуванням (ППД). Найбільш перспективною на сьогоднішній день технологією забезпечення необхідної якості ШВ ротора є комбінована технологія ЕЕЛ з подальшою безабразивною ультразвуковою фінішною обробкою (БУФО). Технології ЕЕЛ і БУФО взаємно доповнюють одна одну. ЕЕЛ дозволяє сформувати на поверхні ШВ зносостійкий шар, а метод БУФО сприяє зниженню шорсткості й підвищенню утомної міцності.

З літературних джерел встановлено, що основною причиною руйнування ПК є його перегрів. З підвищенням температури знижується в'язкість масла й збільшується ймовірність заїдання цапфи в підшипнику, що у кінцевому підсумку призводить до витоплювання ВП. Тому в дослідженнях, спрямованих на вдосконалення конструкції ПК, особливу увагу необхідно приділяти технічним рішенням, що дозволяють знизити температуру несучої гідродинамічної плівки. При цьому нові підшипники повинні відрізнятися гарною несучою здатністю, надійністю, економічною витратою мастильного матеріалу, що в остаточному підсумку вплине на динаміку ротора й роторної машини в цілому.

Другий розділ присвячений розробленню методики цілеспрямованого вибору технології виготовлення ПК.

З метою формалізації вимог до технології розроблена математична модель пошарової структури підшипника, яка подана графом (рис. 1).

Рис. 1. Граф пошарової структури ПК на етапі виготовлення

На рисунку взяті такі позначення: Π_0 – поверхня основи; Π_n – поверхня ПК із заданими експлуатаційними властивостями; ТП – технологічний процес одержання шару ПК; m – кількість шарів ПК; n – кількість технологічних процесів, що дозволяють одержати m -й шар ПК; i – кількість варіантів поверхонь, які можна одержати на m -му шарі ПК.

Формалізовано вимоги до якості поверхневих шарів елементів ПК:

$$k_{\Pi_n} = k_{\Pi_0} \cup \left[\bigcup_{\xi=1}^{m-1} k_{\Pi_\xi} \right] \cup k_{\Pi_m} \cup k_{\Pi_{m+1}},$$

де $k_{\Pi_0} = f(\varepsilon, \varphi, \rho)$ - функція якості основи ПК; ε - параметр, що залежить від шорсткості поверхні; φ - параметр, що залежить від геометричних характеристик; ρ - параметр, що залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалу; $k_{\Pi_\xi} = f(\varepsilon, \eta, \tau)$ - функція якості ξ -го перехідного шару ПК, де $\xi \in [1, (m-1)]$; τ - параметр суцільності покриття; η - параметр, що залежить від товщини шару; $k_{\Pi_m} = f(\chi, p, v, c)$ - функція якості антифрикційного покриття ПК; χ - параметр, що залежить від експлуатаційних властивостей матеріалу; p - параметр, що залежить від питомого тиску на поверхню шару; v - параметр, що залежить від колової швидкості; c - параметр, що залежить від температури; $k_{\Pi_{m+1}}$ - функція якості припрацювального покриття ПК, $k_{\Pi_{m+1}} = f(\tau, \omega)$; ω - параметр рівномірності розподілу шару.

При цьому домінуючими вимогами до поверхні основи ПК є вимоги до геометричних параметрів, що визначають похибку форми і розміщення елементів підшипника у виробі. Вимогами до якості антифрикційних покриттів є гранична напруженість роботи та температура.

Розглянуто процес синтезу раціонального варіанта технології виготовлення підшипника (рис. 2) і введені обмеження, що виникають під час її реалізації.

Формування безлічі технологічних процесів відбувається за умови:

$$\mathbf{T} = \mathbf{K} \cup \mathbf{S} \cup \mathbf{M} \cup \mathbf{O},$$

де $\mathbf{K} = \bigcap_{\eta \in \mathbf{L}} \mathbf{k}_\eta$ - сукупність існуючих конструкцій ПК, де $\mathbf{L} = \{1, 2, \dots, \alpha\}$; $\mathbf{S} = \bigcap_{\rho \in \mathbf{N}} \mathbf{s}_\rho$ - сукупність існуючих комбінацій антифрикційних покриттів з відповідним складом перехідних шарів, наявних у ПК, де $\mathbf{N} = \{1, 2, \dots, \beta\}$; $\mathbf{M} = \bigcap_{\theta \in \Psi} \mathbf{m}_\theta$ - множина методів нанесення шарів на ВП, в якій $\Psi = \{1, 2, \dots, \gamma\}$; $\mathbf{O} = \bigcap_{\tau \in \Phi} \mathbf{o}_\tau$, - множина засобів технологічного оснащення, здатних реалізувати

методи нанесення шарів ПК, в якій $\Phi = \{1, 2, \dots, \omega\}$.

Результатом пошуку є сукупність технологічних процесів

$$T = \bigcap_{\xi \in I} t_{\xi}, \quad \text{де } I = \{1, 2, \dots, \lambda\}.$$

При цьому можливість реалізації технологічного завдання можна описати виразом:

$$\exists t_{\xi} = \left[\bigcap_{\eta \in L} k_{\eta} \right] \cup \left[\bigcap_{\rho \in N} s_{\rho} \right] \cup \left[\bigcap_{\theta \in M} m_{\theta} \right] \cup \left[\bigcap_{\tau \in \Phi} o_{\tau} \right].$$

Рис. 2. Схема синтезу раціонального варіанта технології виготовлення підшипників ковзання

Як критерій вибору раціонального варіанта використовується технологічна собівартість виготовлення виробу

$$t^{opt} = \bigcap_{\xi \in I} t_{\xi} \Rightarrow C^{min}.$$

Розроблено модель спрямованого вибору технології виготовлення підшипника (рис. 3).

Згідно з ТП даної моделі на основу n_1 наноситься шар 1. Далі на шар 1 наносяться послідовно шари 2 ... m . Наприкінці відповідно до технологічного процесу ТП_{нпр} на шар m наноситься припрацювальне покриття. У результаті одержують поверхню ПК із заданими експлуатаційними властивостями.

Розроблено систему цілеспрямованого вибору технології забезпечення необхідної якості пар тертя, яка полягає в тому, що на першому етапі формується набір технологічних операцій, у якому $t_{mnp\theta\omega\xi} \in \xi$ -м варіантом технологічної операції, виконуваної на ω -му устаткуванні (У), що дозволяє реалізувати θ -й метод (m) нанесення ρ -го шару (S) підшипника ковзання з η -го варіанта комбінації перехідних шарів для підвищення якості зчеплення n -го варіанта антифрикційного шару з m -им варіантом основи підшипника ковзання.

Рис. 3. Модель цілеспрямованого вибору варіанта ТП виготовлення ПК за критерієм мінімальної технологічної собівартості

На рівні технологічних операцій синтезується варіант технологічного процесу нанесення шарів підшипника з найменшою технологічною собівартістю виконання операцій (рис. 4).

Рис. 4. Схема синтезу технологічного процесу з найменшою собівартістю виконання технологічних операцій

Даний ТП береться за базовий для подальшої оптимізації. Далі розглядається наступна комбінація перехідних шарів (КПШ) при тому самому складі матеріалу основи підшипника й

антифрикційного шару. З усіх існуючих варіантів КПШ з урахуванням вимог щодо якості поверхневого шару й обмежень з реалізації вибирається ТП, що має найменшу технологічну собівартість. Цей ТП набуває статусу базового в поточному перетині. Аналогічний синтез відбувається і в інших наявних перетинах «основа - антифрикційний шар».

Таким чином, застосовуючи для оптимізації метод «мінімальних перетинів», у результаті спрямованого вибору технології забезпечення необхідної якості пар тертя буде отримано оптимізований, з погляду собівартості, технологічний процес виготовлення ПК.

У третьому розділі описані методики проведення експериментальних досліджень, обґрунтований вибір застосовуваних матеріалів і типу устаткування.

Як матеріал катода (деталі) використовувалися сталь 20 і бронза ОЦС 5-5-5, застосовувані для виготовлення підкладок ВП. Сталь 20 відповідає ДСТУ 1050-88, а бронза ОЦС 5-5-5 ДСТУ 613-79.

Як матеріал анода (легуючого електрода) застосовувалися чисті метали (срібло, мідь, олово, свинець, індій), бабіти Б83 і Б88. Дані метали використовувалися для формування припрацювальних покриттів і створення на поверхні тертя ВП спеціального регулярного мікрорельєфу. Для формування перехідних шарів використовувалися мідь і олов'яна бронза.

Для порівняльних досліджень впливу БУФО на якісні характеристики поверхні ШВ роторів використовувалася низьколегована сталь 40Х у поліпшеному стані із твердістю основи 3100 – 3200 МПа. Як матеріал анода для зміцнення ШВ роторів використовували графіт марки ЕГ-4.

Вплив матеріалу електрода, середовища, режимів ЕЕЛ на якісні параметри покриттів визначали на зразках, легуваних на установці «ЕІЛ-8А». Використані при дослідженнях режими роботи установки наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Режими роботи модифікованої установки «ЕІЛ - 8А»

Номер режиму	Напруга холостого ходу $U_{x,x}$, В	Робочий струм I_p , А		Енергія розряду W_u , Дж	
		C = 150 мкФ	C = 300 мкФ	C = 150 мкФ	C = 300 мкФ
3	30	0, 5-0,6	1, 6-2,0	0,04	0,08
5	47	0, 7-0,8	2, 0-2,2	0,10	0,20
7	67	0, 9-1,0	2, 4-2,7	0,20	0,40
9	87	1, 1-1,3	2, 6-3,5	0,34	0,68

Подача аргону в зону легування здійснювалася за допомогою спеціального пристрою. Ерозію анода й приріст ваги катода визначали на аналітичних вагах ВЛА-200 з точністю до 10^{-4} г.

На зразки зі сталі 20 з бабітовим шаром методом ЕЕЛ з енергією розряду до 0,03 Дж наносили припрацювальні покриття з індію й олова.

На зразки із бронзи наносили припрацювальні покриття зі срібла, міді й свинцю при енергії розряду до 0,4 Дж і з бабіту Б83 - до 0,04 Дж.

Шліфи зразків після ЕЕЛ досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка якості шару, його суцільності, товщини й будови зон підшару. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавненням алмазної піраміди при різному навантаженні. Товщину шару покриття вимірювали мікрометром, а шорсткість поверхні на профілографі-профілометрі моделі 201 заводу «Калібр».

Топографічний аналіз, перегляд і зйомку найбільш характерних ділянок покриття в площині, що перпендикулярна до нанесеного шару, здійснювали за допомогою растрового електронного мікроскопа JOEL JSM-540. Розподіл елементів по глибині шару вивчали за допомогою електронного мікроскопа – мікроаналізатора ISIS 300 Oxford instruments. Якісний аналіз і визначення кількісного складу припрацювальних покриттів на зразках із бронзи ОЦС 5-5-5 проводили на сканувальному електронному мікроскопі РЕММА-102.

Для досліджень міцності з'єднання бабітового шару з підкладкою проводили випробування на стиснення за ДСТ ІСО 4386-2-99. Для цього були виготовлені вісім зразків ПК із розмірами $\varnothing 100/\varnothing 80$ мм і $b = 45$ мм, матеріали основи й антифрикційного шару яких і кількість наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Серії зразків ПК, випробовуваних на стиснення

Матеріал підкладки	Матеріал для заливання - бабіт	
	Б88	Б83
Бронза ОЦС 5-5-5	1 шт.	1 шт.
Сталь 20	1 шт.	1 шт.
Сталь 20 + підшар бронзи ОЦС 5-5-5 (ЕЕЛ)	1 шт.	1 шт.
Сталь 20 + підшар міді (ЕЕЛ)	1 шт.	1 шт.

З метою визначення можливості застосування методу БУФО як завершальної операції після ЕЕЛ для зміцнення шийок валів роторів виготовляли круглі зразки зі сталі 40Х. Зовнішня поверхня зразка $\varnothing 50$ мм і довжиною 300 мм розмічалася на п'ять рівних кільцевих ділянок, кожна з яких оброблялась в такий спосіб: перша – без зміцнення; друга – ЕЕЛ + БУФО; третя – БУФО; четверта – ППД; п'ята – ЕЕЛ + ППД.

Обробка БУФО проводилася при робочій частоті генератора 20 - 24 кГц. Обкатування кулькою проводилося на токарному верстаті пружинно-штоковим пристроєм з кулькою \varnothing 10 мм. Максимальне питоме зусилля обкатування кулькою становило 1650 Н. Далі з кожної зміцненої ділянки виготовлялися зразки, на яких досліджували структуру й мікротвердість поверхневого шару, а також визначали залишкові напруження.

Випробування на припрацьовуваність покриттів з олова й індію, нанесених на бабіт Б-83, і покриттів з м'яких антифрикційних металів, нанесених на зразки із бронзи ОЦС 5-5-5, проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою "диск – колодка". Покриття наносилися на колодку. Як диск застосовували круглий зразок (\varnothing 50 x 10 мм) зі сталі 40Х, зміцнений методом ЕЕЛ з подальшою обробкою методом БУФО.

Далі зразки встановлювалися на машину тертя й припрацьовувались із питомим навантаженням 2,0 МПа. Змащування поверхонь тертя здійснювалося в умовах, коли нижня частина круглого зразка перебувала у ванні з маслом турбінним Т-22. Швидкість ковзання становила 0,78 м/с. Площа припрацьованої поверхні визначалася через кожні 20 хв випробувань візуально стосовно припрацьованої поверхні до вихідної, %.

У четвертому розділі описані експериментальні дослідження, спрямовані на підвищення якості зчеплення антифрикційного бабітового шару ВП із підкладкою, а також результати досліджень, спрямованих на підвищення якості поверхонь тертя пари «ВП-ШВ».

У результаті дослідження впливу технологічних параметрів ЕЕЛ на масоперенесення, шорсткість та інші якісні показники при ЕЕЛ сталі 20 міддю й олов'яною бронзою встановлено, що найбільш раціональним є 9-й режим легування при енергії розряду 0,34 Дж. Причому краща якість покриття (суцільність, шорсткість та ін.) досягається при використанні захисного середовища - аргону.

При легуванні сталі 20 міддю й олов'яною бронзою мікротвердість на поверхні шару становить відповідно $H_{\mu} = 850-900$ МПа й $H_{\mu} = 1050-1150$ МПа. У міру поглиблення вона збільшується до мікротвердості 2500-3000 МПа і потім переходить у мікротвердість основного металу $H_{\mu} = 1750-1800$ МПа.

На рис. 5 показані мікрошліф (а) і розподіл мікротвердості в граничній зоні (б) між сталлю 20 і оловом, нанесеним із використанням традиційної технології - лудінням.

Рис. 5. Мікрошліф (а) і розподіл мікротвердості (б) у поверхневому шарі сталі 20 з лудінням
оловом

Як бачимо з рисунка, перехідний шар між оловом і підкладкою відсутній. Мікротвердість різко змінюється за величиною від 310-340 до 1750-1800 МПа.

У випадку ЕЕЛ сталі 20 міддю або олов'яною бронзою між оловом і міддю або оловом і компонентами олов'яної бронзи утворюються тверді розчини заміщення, що забезпечує більш міцний зв'язок. У свою чергу, міцний зв'язок між сталеву підкладкою і міддю або олов'яною бронзою забезпечується ЕЕЛ, що підтверджується наявністю у сформованих шарах дифузійної зони (рис. 6 а). Мікротвердість у перехідній зоні спочатку плавно підвищується від 210-230 до 2700-2800 МПа, а потім плавно знижується до мікротвердості металу основи (рис. 6 б).

При використанні як проміжного шару бронзи закономірність формування перехідних шарів зберігається.

У результаті рентгенівського мікроаналізу поверхневого шару сталі 20 після ЕЕЛ міддю й оловом у площині, що перпендикулярна покриттю, встановлено, що граничні ділянки між оловом, міддю й сталлю 20 складаються з елементів сусідніх шарів, що свідчить про їхній дифузійний перерозподіл у покритті. У міру поглиблення в нижніх шарах олова зростає концентрація міді. Нижче між міддю й сталлю 20 концентрація міді знижується, а заліза - зростає.

Випробування зразків на міцність з'єднання антифрикційного шару й металевої основи проводилися в дослідницькій лабораторії ВАТ «Гродно Азот» Республіки Білорусь. Аналіз проведених досліджень показує таке:

- застосування перехідних шарів із бронзи й міді, які наносилися методом ЕЕЛ у захисному середовищі (аргон), підвищує міцність з'єднання сталеву підкладки з антифрикційним бабітовим шаром у порівнянні із традиційною технологією (сталль 20 + бабіт) відповідно на 2,3 і 35%;
- при заміні сталеву підкладки на бронзову міцність вищезазначеного з'єднання знижується.

Рис. 6. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) у перехідному шарі при ЕЕЛ сталі 20 міддю з подальшим лудінням оловом

ЕЕЛ поверхні бабіту Б83 індієм і оловом дозволяє сформувати поверхневі шари товщиною відповідно до 130 і 100 мкм з мікротвердістю, нижче мікротвердості основи, у яких відсутні тверді включення.

Запропоновано новий спосіб нанесення методом ЕЕЛ на бронзові ВП припрацьовувальних покриттів складу: срібло + мідь + бабіт.

Таким чином, одержують комбіноване електроерозійне покриття (КЕП), що не є суцільним (гомогенним) шаром, а перебуває у вигляді дискретних зон з максимальною товщиною 30 мкм, тобто формується регулярний мікрорельєф поверхні, структура вершин якого має мікротвердість 350-380 МПа.

Дослідження, проведені на скануючому електронному мікроскопі РЕММА-102, показали, що поверхневий шар бронзового зразка, утворений почерговим нанесенням методом ЕЕЛ срібла, міді й бабіту, складається з елементів легуючих електродів і підкладки. Товщина покриття становить 30 мкм.

Застосування ВП, оброблених пропонованим способом, не завжди приводить до бажаного результату через малу товщину покриття.

У результаті досліджень, спрямованих на збільшення товщини припрацювальних покриттів, для бронзових ВП до практичного застосування можуть бути запропоновані КЕП зі срібла й свинцю з максимальною товщиною до 120 мкм. Бронзові ВП, оброблені за пропонованим способом, мають високу надійність і довговічність при роботі через те, що навіть при руйнуванні покриття підшипник продовжує працювати.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що застосування комбінованої технології ЕЕЛ + ППД не завжди приводить до бажаного результату. Так, перевищення питомого зусилля обкатки кулькою може призвести до утворення на поверхні ШВ мікротріщин.

Застосування після ЕЕЛ методу БУФО приводить до зниження шорсткості (Ra) з 1,25 до 0,05 мкм, збільшення стискаючих напруг з 70 до 500 МПа й формування поверхневого шару з мікротвердістю на поверхні 8000 МПа. Комбінована технологія ЕЕЛ + БУФО рекомендується до практичного застосування для зміцнення підшипникових ШВ роторів.

У **п'ятому розділі** описана методика визначення на будь-якій установці ЕЕЛ оптимальних режимів формування перехідного шару з міді, що підвищує міцність зчеплення підкладки зі сталі 20 і антифрикційного бабітового шару. При цьому отримане рівняння продуктивності процесу ЕЕЛ сталі 20 міддю (Т) залежно від енергії розряду (W_p):

$$T = T_{\min} \cdot e^{\frac{E_A}{W_p}}, \quad (1)$$

де T_{\min} – мінімальний час покриття міддю 100% площі поверхні зразка зі сталі 20; E_A - енергія активації процесу ЕЕЛ міддю сталі 20. Визначено константи рівняння (1): $T_{\min} = 0,452$ хв і $E_A = 0,684$ Дж.

Розроблено методику визначення раціональних режимів формування методом ЕЕЛ на поверхні бронзових вкладишів ПК припрацювальних покриттів складу: «срібло + мідь + бабіт» і «срібло + свинець + срібло», а на бічних і вхідних краях поверхні бронзових вкладишів підшипників - смуг додаткового мікрорельєфу складу – «срібло + мідь + бабіт + срібло», які підвищують несучу здатність ПК.

У результаті дослідження тривалості припрацювання бабітових і бронзових ВП без покриття і з припрацювальним покриттям встановлено, що в бабітових ВП із покриттями з олова й індію

припрацювання здійснюється інтенсивніше, а в бронзових ВП із КЕП час припрацювання у два рази менше, ніж без покриття.

При розробленні технологічних конструкцій ПК високошвидкісних ТКА запропоновані нові конструктивні рішення. Так, для зниження температури несучої гідродинамічної плівки розподільна канавка біля вхідної крайки виконана із щільним каналом, розміщеним від канавки до торця подушки проти напрямку обертання вала, а біля вихідної крайки виконаний паз для відведення гарячого мастила (рис. 7).

Рис. 7. Нова конструкція радіального підшипника ковзання із вкладишами на гідростатичному підвісі

Для ефективного зняття з вала гарячого мастила в пазі встановлено скребок, виконаний із зносостійкого протизадиркового матеріалу. Причому в конструкції гребінця передбачена така форма, що забезпечує переміщення гребінця навколо поздовжньої осі для компенсації його зношування при зніманні гарячого мастила.

Для зниження температури гідродинамічної плівки ВП у тілі останнього виконано ряд отворів, осі яких паралельні поздовжній осі підшипника. Через отвори здійснюється протікання мастила для додаткового охолодження найбільш термонапруженої частини вкладиша.

Нові технічні рішення, спрямовані на підвищення технологічності конструкції, дозволили створити ПК, який характеризується гарною несучою здатністю, надійністю, економічною витратою мастильного матеріалу, що в кінцевому підсумку позитивно впливає на динаміку ротора й роторної машини в цілому.

Методика спрямованого вибору технології забезпечення необхідної якості підшипників високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів реалізована в умовах підприємства ТОВ «ТРІЗ» (рис. 8).

Рис. 8. Схема синтезу раціональної технології забезпечення необхідної якості ПК

Результати дисертаційної роботи впроваджені на Одеському припортовому заводі (Україна); АТ «Азот», м. Черкаси (Україна); ТОВ «ТРІЗ», м. Суми (Україна); ВАТ «Гродно Азот», м. Гродно (Республіка Білорусь); ВАТ «НАК» Азот», м. Новомосковськ (Російська Федерація). Економічний ефект від впровадження основних положень роботи у виробництво становить 134 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На підставі виконаних досліджень розроблені наукові принципи спрямованого вибору технології забезпечення необхідної якості елементів ПК найбільш економічними методами, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність ПК високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів.

2. Застосування перехідних шарів з олов'яної бронзи й міді, які наносилися методом ЕЕЛ у захисному середовищі аргону, підвищує міцність з'єднання сталеві підкладки з антифрикційним бабітовим шаром у порівнянні із традиційною технологією відповідно на 2,3 і 35% (патент UA 64613).

3. Застосування після ЕЕЛ методу БУФО приводить до зниження шорсткості (Ra) з 1,25 до 0,05 мкм, збільшення стискаючих напруг з 70 до 500 МПа й формування поверхневого шару з мікротвердістю на поверхні 8000 МПа. Комбінована технологія ЕЕЛ + БУФО рекомендується до практичного застосування для зміцнення підшипникових шийок роторів.

4. Розроблено методуку визначення раціональних режимів формування методом ЕЕЛ:

- перехідного шару з міді, що підвищує міцність зчеплення підкладки зі сталі 20 і антифрикційного бабітового шару. При цьому отримано рівняння продуктивності процесу ЕЕЛ сталі 20 міддю й визначені його константи (мінімальний час легування T і енергія активації процесу E_A);

- на поверхні бронзових вкладишів ПК покриттів складу: срібло + мідь + бабіт і срібло + + свинець + срібло, що дозволяють у два рази скоротити час припрацювання й підвищити довговічність підшипника в 1,8 раза (патенти UA78155, RU2299790);

- на бічних, вхідних і вихідних краях поверхні бронзових ВП смуг додаткового мікрорельєфу, що являють собою КЕП (срібло + мідь + бабіт + +срібло), які підвищують несучу здатність ПК до 20% (патенти: UA77906, RU2299791).

5. Нові конструктивні рішення з модернізації ПК дозволили знизити температуру й підвищити товщину масляного шару й таким чином створити підшипник, що має у два рази більшу несучу здатність, надійність, економічну витрату мастильного матеріалу, що в кінцевому підсумку позитивно впливає на динаміку ротора й роторної машини в цілому (патенти: UA763, RU19887, BY3489).

6. Економічний ефект від впровадження основних положень роботи у виробництво становить 134 тис. грн.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С. Модернізація та ремонт роторних машин: Монографія. - Суми: Вид-во "Козацький вал", 2005. - 364 с.
2. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Антошевський Б. Підвищення якості підшипників ковзання: Монографія.- Суми: Вид-во"МакДен", 2006.- 160 с.
3. Тарельник В. Б. Марцинковский В. С. Проблемы изготовления и эксплуатации подшипников скольжения // Вісник Сумського державного університету. - 2004.- № 2 (61). - С. 151-156.
4. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С. Исследование закономерностей массопереноса при электроэрозионном легировании стали 20 медью и оловянной бронзой // Вестник национального технического университета "ХПИ". - 2004.- №28. - С. 76-80.
5. Тарельник В.Б., Пчелинцев В.А., Марцинковский В.С., Антошевский Б. Металлографические исследования баббитовых покрытий подшипников скольжения с промежуточным слоем из меди или оловянной бронзы // Вісник Сумського державного університету. - 2004. - № 13(72). - С. 122-128.
6. Тарельник В.Б., Яременко В.П., Марцинковський В.С., Антошевський Б. Підвищення міцності з'єднання антифрикційного шару підшипників ковзання і металевої основи // Вісник Сумського національного аграрного університету. - 2004. - Вип. 11. - С. 91-97.
7. Тарельник В.Б., Пчелинцев В.А., Марцинковский В.С., Антошевский Б. Исследование состава антифрикционного слоя подшипников скольжения, сформированного с использованием технологий ЭЭЛ // Сборник научных трудов. - Алчевск: ДГМИ. - 2005. - Вып. 19.– С. 215-225.
8. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Антошевський Б. Новий спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання // Вісник Сумського національного аграрного університету. - 2005. - Вип. 11(14). - С. 96-99.
9. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Антошевский Б. Совершенствование технологии изготовления баббитовых подшипников скольжения // Компрессорное и энергетическое машиностроение. - 2006. - №1 (3).- С. 15-22.
10. Бакай Г.А., Марцинковский В.С. Изменение энергии связи между атомами металл-металл // Вісник Сумського національного аграрного університету. - 2007. - Вип. 1(16). - С. 13-22.
11. Марцинковский В.С. Оптимизация режимов электроэрозионного легирования для формирования прирабочных покрытий на бронзовых вкладышах подшипников // Компрессорное и энергетическое машиностроение. - 2007. - № 2(8). - С. 33-36.
12. Марцинковский В.С. Оптимизация режимов электроэрозионного легирования для формирования переходного слоя из меди, повышающего качество подшипников скольжения // Вісник Сумського державного університету. - 2007. - № 2. - С. 57-62.

13. Підшипниковий вузол: Пат. 763. Україна. МКИ F16C32/06 /Марцинковський В.С., Грищенко В.Г.; Заявл. 24.04.00; Опубл. 15.02.01, Бюл.№ 2. – 3 с.: ил.
14. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання: Пат. 64613. Україна. МПК В23Н1/00 /Марцинковський В.С., Тарельник В.Б.; Заявл. 17.07.03; Опубл. 15.08.06, Бюл. № 8. - 2 с.
15. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання. Пат. 77906. Україна. МПК В23Н1/00 /Марцинковський В.С.; Заявл. 26.10.05; Опубл. 15.01.07, Бюл. № 1. – 3 с.: ил.
16. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання. Пат. 78155. Україна. МПК В23Н1/00 / Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Пчелінцев В.О.; Заявл. 25.10.05; Опубл. 15.02.07, Бюл. № 2. - 3 с.: ил.
17. Марцинковский В.С. Модернизация динамического оборудования // Сб. статей по материалам 10-й Международ. научно-метод. конф. “Технологии XXI века”. Алушта, 2003. - Т.2.- С. 109-118.
18. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Подшипники для динамического оборудования // Труды XIII Международ. научно-технической конференции по компрессоростроению. «Компрессорная техника и пневматика в XXI веке». - Сумы, 2004. - Т.3. - С. 135-150.
19. Тарельник В.Б., Пчелинцев В.А., Марцинковский В.С., Антошевский Б. К вопросу повышения качества подшипников скольжения технологическими методами // Труды 11-й Международ. научно-технической конференции «Герметичность, виброненадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования». - Сумы, 2005. - Т.3. - С. 124-131.
20. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Антошевский Б. Технология повышения качества несущих элементов подшипников скольжения // Труды Международного научного симпозиума «Гидродинамическая теория смазки – 120 лет». - Орел, 2006. - Т. 2. - С. 178-185.
21. Марцинковский В.С., Тарельник В.Б. Формирование специального микрорельефа на поверхностях трения бронзовых вкладышей подшипников скольжения // Сб. статей по материалам 14-й Международ. научно-метод. конф. “Технологии XXI века”. - Алушта, 2007. - С.3-5.
22. Марцинковский В.С., Антошевский Б. Повышение качества баббитовых подшипников скольжения // Сб. статей по материалам 14-й Международ. научно-метод. конф. “Технологии XXI века”. - Алушта, 2007.-С.6.

АНОТАЦІЯ

Марцинковський В.С. Підвищення ефективності технології виготовлення підшипників ковзання високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2008 р.

Робота присвячена питанням підвищення ефективності технології виготовлення підшипників ковзання (ПК) високошвидкісних турбокомпресорних агрегатів.

На підставі виконаних досліджень розроблена методика спрямованого вибору технології забезпечення необхідної якості елементів ПК найбільш економічними методами.

Аналіз існуючих технологій підвищення якості поверхневих шарів деталей машин показав, що процес електроерозійного легування (ЕЕЛ) є найбільш перспективним для формування на елементах ПК поверхневих шарів з необхідною структурою і параметрами. Застосування перехідних шарів з олов'яної бронзи й міді, які наносяться методом ЕЕЛ у захисному середовищі аргону, підвищує міцність з'єднання сталевий підкладки з антифрикційним бабітовим шаром порівняно із традиційною технологією відповідно на 2,3 і 35% (патент UA 64613). ЕЕЛ бабітових і бронзових вкладишів ПК м'якими антифрикційними металами дозволяє створювати на їхніх робочих поверхнях спеціальні покриття, що поліпшують умови припрацювання (UA78155, RU2299790). Застосування після ЕЕЛ методу безабразивної ультразвукової фінішної обробки (**БУФО**) призводить до зниження шорсткості поверхні (R_a) з 1,25 до 0,05 мкм, збільшення стискаючих напруг з 70 до 500 МПа й формування поверхневого шару з мікротвердістю на поверхні до 8000 МПа. Комбінована технологія ЕЕЛ + БУФО рекомендується до практичного застосування для зміцнення підшипникових шийок роторів.

Запропоновано нові технологічні конструкції ПК із самоустановлювальними вкладишами на гідростатичному підвісі, які дозволили створити підшипник, що має високі несучу здатність, надійність, економічну витрату мастильного матеріалу, що в остаточному підсумку позитивно впливає на динаміку ротора і роторної машини в цілому.

Економічний ефект від впровадження основних положень роботи у виробництво становить 134 тис. грн.

Ключові слова: поверхневий шар, якість поверхні, технологічний процес, спрямований вибір, електроерозійне легування, безабразивна ультразвукова фінішна обробка, підшипник ковзання, вкладиш, комбіновані технології.

АННОТАЦИЯ

Марцинковский В.С. Повышение эффективности технологии изготовления подшипников скольжения высокоскоростных турбокомпрессорных агрегатов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2008 г.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности технологии изготовления подшипников скольжения (ПС) высокоскоростных турбокомпрессорных агрегатов (ТКА).

Диссертационная работа состоит из вступления, 5 разделов, выводов, списка использованных источников, приложений.

Первый раздел посвящен анализу литературы по вопросам текущего состояния проблемы, связанной с повышением качества ПС для насосного и компрессорного оборудования. Рассмотрены вопросы, связанные с качеством сцепления поверхностного антифрикционного слоя и подложки вкладышей подшипников (ВП), а также с улучшением прирабатываемости их поверхностей трения. Исследован отечественный и зарубежный опыт применения наиболее технологичных конструкций ПС, обеспечивающих надежность и долговечность их эксплуатации.

Второй раздел посвящен разработке методики направленного выбора технологии изготовления ПС. С целью формализации требований к технологии разработана математическая модель послойной структуры подшипника. Рассмотрен процесс синтеза рационального варианта технологии изготовления ПС. Из всех существующих вариантов, с учетом требований по качеству поверхностного слоя и ограничений по реализации, выбирается технологический процесс с наименьшей технологической себестоимостью.

Разработана методика оптимизации выбора технологии обеспечения требуемого качества пар трения при изготовлении ПС. Так, применяя при оптимизации метод «минимальных сечений», получаем наилучший с точки зрения себестоимости технологический процесс изготовления ПС.

В третьем разделе описаны методики проведенных экспериментальных исследований, обоснован выбор применяемых материалов и тип оборудования.

В четвертом разделе описаны экспериментальные исследования, направленные на повышение качества сцепления антифрикционного баббитового слоя ВП с подложкой, а также результаты исследований, направленных на повышение качества поверхностей трения пары «вкладыш подшипника – шейка вала».

Установлено, что применение переходных слоев из бронзы и меди, наносимых методом ЭЭЛ в защитной среде, повышает прочность соединения стальной подложки с баббитовым слоем по

сравнению с традиционной технологией (сталь + баббит) соответственно на 2,3 и 35% (патент UA 64613).

Определено, что ЭЭЛ баббитовых и бронзовых вкладышей ПС мягкими антифрикционными металлами улучшают условия приработки (UA78155, RU2299790). Применение после ЭЭЛ метода безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО) приводит к снижению шероховатости поверхности шейки вала (Ra) с 1,25 до 0,05 мкм, увеличению сжимающих напряжений с 70 до 500 МПа и формированию поверхностного слоя с микротвердостью на поверхности до 8000 МПа. Комбинированная технология ЭЭЛ + БУФО рекомендуется к практическому применению для упрочнения подшипниковых шеек роторов.

В пятом разделе описаны методики определения режимов ЭЭЛ для создания переходного слоя из меди, повышающего прочность сцепления стальной подложки и баббитового слоя. Описана технология формирования на поверхностях трения бронзовых вкладышей ПС прирабатывающих покрытий и полос дополнительного микрорельефа, которые повышают несущую способность ПС.

Предложены новые технологичные конструкции ПС с вкладышами на гидростатическом подвесе, которые позволили создать подшипник, обладающий хорошей несущей и демпфирующей способностью, надежностью, экономичным расходом смазки, что положительно влияет на динамику ТКА.

Экономический эффект от внедрения основных положений работы в производство составляет 134 тыс. грн.

Ключевые слова: поверхностный слой, качество поверхности, подшипник скольжения, вкладыш, технологический процесс, направленный выбор, электроэрозионное легирование, безабразивная ультразвуковая финишная обработка, комбинированные технологии.

ABSTRACT

Martsincovsky V.S. Increasing efficiency of the technology for manufacturing slider bearings to be used at high-speed turbocompressor units. - The Manuscript.

The dissertation for the degree of Cand.Tech.Sci. on speciality 05.02.08 - technology of mechanical engineering. National Technical University «Kharkov Polytechnical Institute », Kharkov, 2008

The dissertation is intended for solving problems of increasing efficiency of the technology for manufacturing slider bearings (SB) to be used at high-speed turbocompressor units. On the basis of the executed researches, there was developed a procedure for making aimed choice of technology, which shall provide for demanded quality of SB elements with the use of the most economic processes.

Analysis of existing technologies for improving surface layers quality of machine component parts has exposed the process of electroerosive alloyage (EEA) to be the most perspective one for forming surface layers of necessary structure and parameters on SB elements. In comparison with traditional technology,

providing for transition layers of tin bronze and copper, which are applied using EEA process in protective atmosphere of argon, makes it possible increasing strength of joint of steel pad with antifriction babbitt layer by 2.3 and 35 % accordingly (patent UA 64613). Providing for the EEA process of babbitt and bronze SB inserts with softened (elasticized) antifriction metals allows to create the special covering on their working surfaces which improve running-in conditions (UA78155, RU2299790). Providing for the process of non-abrasive ultrasonic finishing treatment (NAUFT) after EEA process results in reduction of roughness (Ra) from 1.25 to 0.05 microns, increase of compressing pressure from 70 to 500 MPa, and formation of surface layer with 8000 MPa surface microhardness. The EEA + NAUFT combined technology can be recommended for practical application for hardening rotor necks.

There are proposed new SB technological designs with self-adjustable inserts on hydrostatic suspension (base), which have allowed to create the bearing which possesses high supporting power, reliability, economical grease consumption that, finally, positively influence dynamics of rotors and rotor machines as a whole.

Economic benefits of industrial introduction of the work main achievements make 134 thousand UAH.

Keywords: surface layer, quality of surface, technological process, electroerosive alloyage, slider bearing, insert of bearing, the combined technologies.

Підп. до друку 19.05.2008.

Формат 60x90/16.

Папір ксероксний.

Наклад 100 прим.

Обл. -вид.арк.0,9.

Гарнітура Times

Замовлення №

Ум.друк.арк. 1,0.

New Roman Cyr.

Друк офс.

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті.

40007, м. Суми, вул. Римського- Корсакова, 2.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру ДК № 3062
від 17.12.2007р.

Друкарня СумДУ. 40007, м. Суми, вул. Римського- Корсакова, 2.