

УДК: 621.048

DOI 10.36910/6775.24153966.2020.70.6

М.Ю. Думанчук

Сумський національний аграрний університет

НОВИЙ СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ФРЕТІНГ-КОРОЗІЇ КРІПІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРУЖНИХ МУФТ

В роботі розглянута проблема захисту поверхонь деталей роторних машин від фретинг-корозії. Запропонована нова технологія зміцнення деталей пружної муфти, які працюють в умовах фретинг-корозії. Метод включає хіміко-фізичний вплив на поверхневий шар деталей пружної муфти, що контактують в парі тертя, яке здійснюють методом епіламування. Деталі миють, знежирюють, поміщають в металевий кошик, занурюють в металеву ємність з розчином для епіламування, кип'ятять при температурі 47-50 °C впродовж 45 хв, після чого виймають і сушать. Збільшення стійкості проти фретинг-корозії підтверджується значним зниженням показників шорсткості Ra, Rz, Rmax поверхонь тертя, відповідно в 1,55; 1,53 і 1,39 раз. Процес епіламування відрізняється низькою собівартістю за рахунок застосування простого і дешевого обладнання зменшення трудомісткості обробки.

Ключові слова: пружна муфта, епілам, фретинг-корозія, поверхня, стенд, шорсткість.

М.Ю. Думанчук

НОВЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ УПРУГИХ МУФТ

В работе рассмотрена проблема защиты поверхностей роторных машин от фреттинг-коррозии. Предложена новая технология упрочнения деталей упругой муфты, работающих в условиях фреттинг-коррозии. Метод включает химико-физическое воздействие на поверхностный слой деталей упругой муфты, контактирующих в паре трения, которое осуществляют методом эпиламирования. Детали моют, обезжиривают, помещают в металлические корзины, погружают в металлическую емкость с эпиламирующим раствором, кипятят при температуре 47-50 °C в течении 45 мин., после чего вынимают и сушат. Повышение стойкости против фреттинг-коррозии подтверждается значительным снижением показателей шероховатости Ra, Rz, Rmax поверхностей трения в 1,55; 1,53 и 1,39 раз. Процесс эпиламирования отличается низкой себестоимостью за счет применения простого и дешевого оборудования, уменьшения трудоемкости обработки.

Ключевые слова: упругая муфта, эпилам, фреттинг-коррозия, поверхность, стенд, шероховатость.

M.Y.Dumanchuk

NEW METHOD OF ELASTIC COUPLING FIXING PARTS FRETTING CORROSION REDUCING

Problem of the fretting corrosion protection for rotary machines parts surfaces is considered in the work. A new technology for strengthening the of elastic coupling parts which working under conditions of fretting corrosion is proposed. The method contains a chemical-physical effect on the elastic coupling parts surface layer in contact with the friction pair, which is carried out by the method of epilamation. The parts are washed, degreased, placed in a metal basket, immersed in a metal container with a solution for epilamation, boiled at a temperature of 47-50 °C for 45 min, then removed and dried. The increase in resistance to fretting corrosion is confirmed by a significant decrease in the roughness indices Ra, Rz, Rmax of the friction surfaces, by 1.55; 1.53 and 1.39 times, respectively. The process of epilamation is low in cost due to the use of simple and cheap equipment to reduce the complexity of processing.

Key words: elastic coupling, epilame, fretting corrosion, surface, stand, roughness.

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Роторні машини і механізми мають широкий діапазон робочих параметрів, і в процесі постійного розвитку техніки досягли високого рівня досконалості. Частота обертання роторів ультрацентрифуг, мікротурбін, турбодетандерів досягає мільйона за хвилину [1]; потужність турбонасосних агрегатів двигунів ракет-носіїв при мінімальних габаритах перевищують сотню мегават [2, 3].

В [4] визначено ряд принципів труднощів, що супроводжують створення роторних машин з високими робочими параметрами. Однією з таких є проблема передачі великої потужності від приводу до машини в умовах немінучих радіальних і кутових зміщень деталей валопроводів (неспіввісності) і значних динамічних навантажень.

У сучасному насосному і компресорному машинобудуванні широко використовуються пружні муфти (ПМ) з гнучкими елементами (ГЕ) для передачі крутного моменту від приводу на енергетичний агрегат [5].

Незважаючи на ряд переваг, їх істотним недоліком є схильність поверхонь ГЕ до фретинг-корозії (Ф-К), тому роботи, спрямовані на зниження зазначеного недоліку, актуальні і своєчасні.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

Відносні мікрозміщення з'єднаних поверхонь, які є необхідними для протікання процесу

зносу, відбуваються внаслідок деформацій деталей в умовах навантаження і вібрацій, що супроводжують роботу машин і обладнання. Інтенсивність зносу зростає при роботі деталей в агресивних середовищах. В даному випадку пошкодження з'єднаних поверхонь відбувається в умовах Ф-К, яке, як правило, протікає при їх незначних коливальних відносних переміщеннях [6].

З'єднуючі муфти в роторних машинах ДО, вирішуючи проблему з'єднання валів в єдину роторну систему, повинні не тільки забезпечувати надійну передачу великих крутних моментів при високій частоті обертання, а й мати стабільно низький дисбаланс, демпфувати вібрації, які передаються по валопроводу від одних частин агрегату до інших, мати оптимальні пружно-масові характеристики. Працюючи в зоні великих навантажень, муфти повинні мати високий ступінь надійності і тривалий ресурс роботи.

Всім перерахованим вище вимогам найбільш повно задовольняють ПМ з пакетом металевих мембран (рис. 1). Основними перевагами ПМ в порівнянні з традиційними зубчастими або втулково-пальцевими муфтами є їх здатність компенсувати радіальну неспіввісність і перекося валів, а також м'який пуск, демпфування осьових і радіальних зусиль. Вони безшумні в роботі і не вимагають обслуговування в процесі експлуатації. Муфти одночасно володіють жорсткістю щодо крутіння і гнучкістю в осьовому і кутовому напрямку, компенсуючи значні величини розцентрування валів, в тому числі неспіввісність [7].

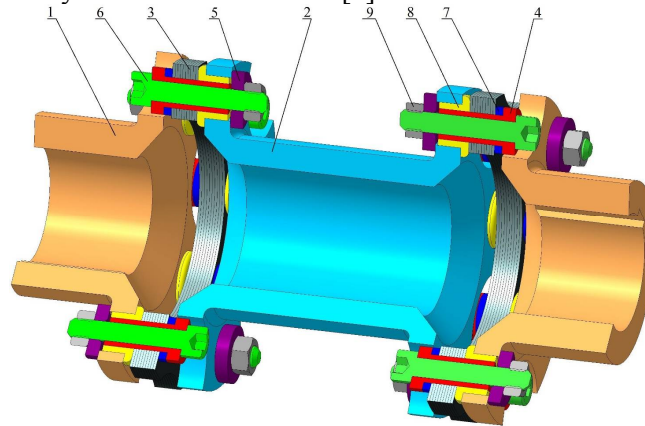


Рис. 1. Конструкція муфти з пружними металевими елементами:
 1 - півмуфта; 2 - проставка; 3 - пакет пружних металевих елементів;
 4 - втулка; 5 - шайба; 6 - гвинт; 7 - шайба мала; 8 - втулка; 9 - гайка

В процесі роботи ПМ на контактуючих поверхнях деталей, що утворюють різні пари тертя (рис. 2), протікають процеси Ф-К.

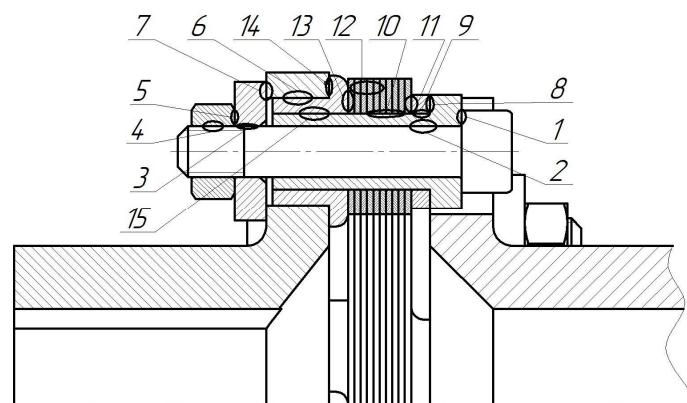


Рис. 2. Контактуючі поверхні ПМ, що піддаються Ф-К:

- 1 – «головка болта - втулка», 2 – «шийка болта - втулка», 3 – «шийка болта - шайба», 4 – «різь болта - різь гайки», 5 – «гайка - шайба», 6 – «п'ята - півмуфта», 7 – «шайба - півмуфта», 8 – «шайба мала - головка втулки», 9 – «шайба мала - шийка втулки», 11 – «гнучкий елемент - шайба мала», 12 – «гнучкий елемент - гнучкий елемент», 13 – «гнучкий елемент - п'ята», 14 – «п'ята - півмуфта», 15 – «п'ята - втулка»

В процесі Ф-К відбувається поступове руйнування контактуючих поверхонь сполучених деталей. Ураження Ф-К становить велику небезпеку, так як може служити джерелом втомного руйнування деталей і, в кінцевому підсумку, виходу ПМ з ладу. На рис. 3 показані зруйновані деталі ПМ.

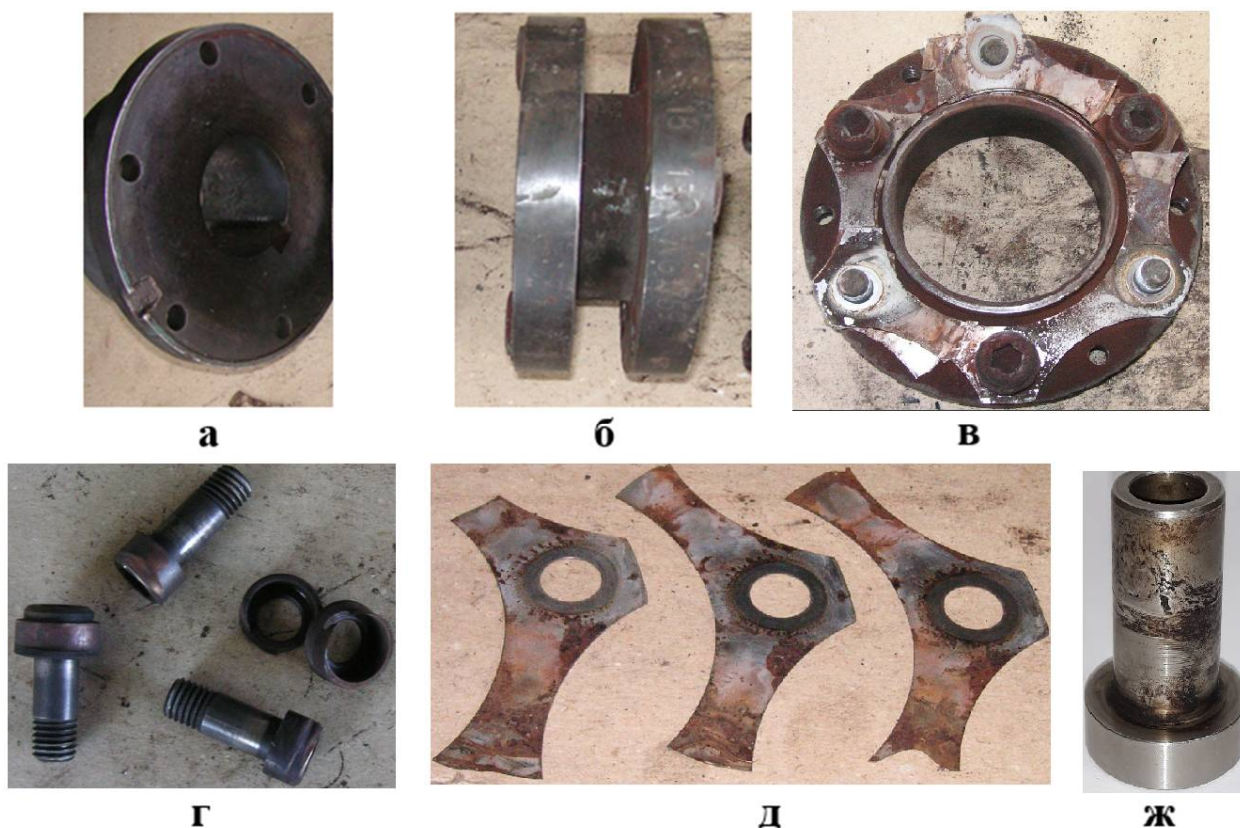


Рис. 3. Деталі пружної муфти, які схильні до Ф-К: а - півмуфта; б - проставка; в - проставка з пакетом гнучких елементів; г - болти і втулки; д - зруйновані гнучкі елементи; ж - втулки

Вузол, що включає в себе набір кріпильних деталей, які з'єднують між собою півмуфту, пакет гнучких елементів і проставку, є найбільш відповідальною ділянкою, яка лімітує працездатність пружної муфти.

У табл. 1 представлені конструктивні вимоги до контактують поверхонь кріпильних деталей.

Таблиця 1.

Конструктивні вимоги до контактують поверхонь кріпильних деталей

Контактуюча поверхня деталі	Матеріал	Шорсткість, Ra, мкм	Твердість	Межа міцності, σ_b , МПа
Шийка болта	40ХН2МА	0,8	28-32 HRC	835
Головка болта	40ХН2МА	1,6	28-32 HRC	835
Шийка втулки	30Х13	0,8	28-32 HRC	860
Головка втулки	30Х13	0,8	28-32 HRC	860
Гайка	30ХГСА	1,6	33-34 HRC	1080
Шайба	30Х13	0,8	197-248 МПа	860

Відомо, що при виборі матеріалів покриттів для захисту від фретинг-корозії деталей високонавантажених сполучень, слід звертати увагу не тільки на їх зносостійкість, але і на чутливість до зсуву, тобто здатність матеріалу приймати на себе зсувну деформацію без ініціювання процесів втомного пошкодження. Відомо, що таку властивість мають досить тонкі

покриття, зручні також і тим, що не порушують ремонтпридатність вузлів і продовжують зберігати в процесі експлуатації натяг, який передбачено при складанні [8,9].

Відомі способи захисту деталей від фретинг-корозії, які полягають в нанесенні на ділянки деталей, що контактують, захисних покриттів. Наприклад, спосіб нанесення високотемпературного фретинг-стійкого захисного покриття на лопатку газотурбінного двигуна методом повітряно-плазмового напилення [10]. Відомий спосіб нанесення на поверхні деталей, що утворюють пари тертя та працюють в умовах фретинг-корозії, захисного покриття, що представляє собою градієнтну тверду корозійностійку композицію [11] та включає обробку пучками заряджених частинок і подальше оксидування або пасивацію деталей.

Згідно [12], в вузлах тертя авіаційно-космічної техніки широке застосування знайшли твердомастильні покриття (ТМП) «плівкового» (тонкошарового) типу, що одержуються різними методами: натиранням (шаржуванням), дифузійним насиченням, гальванічним осадженням, хімічним осадженням, електрофорезом, фізичними методами осадження у вакуумі, осадженням з використанням органічних в'язучих. Типовим варіантом такого сучасного «плівкового» покриття є ТМП загальною товщиною до 5...10 мкм. Як правило, ці покриття мають невеликий ресурс і застосовуються у вузлах тертя, в яких довжина шляху тертя незначна і практично відсутнє винесення продуктів зношування. Для використання в високонавантажених вузлах тертя з підвищеним ресурсом при фретинг-зношуванні найбільш перспективними є відносно товсті (до 200...300 мкм) ТМП, основу яких складають зносостійкі матриці з неорганічних матеріалів.

Загальними недоліками описаних вище способів є висока трудомісткість і собівартість нанесення покриття, необхідність використання складного і дорогого обладнання, при цьому товщина покриттів перевищує допустимий зазор.

Згідно [13], великий практичний інтерес для підприємств різних галузей промисловості має ефективний метод фізико-хімічного впливу на поверхні тертя - епіламування, застосування якого дозволяє значно підвищити зносостійкість сполучених деталей.

Епіламування - це процес нанесення поверхнево-активної речовини з вмістом фтору (ФТОР-ПАР) - епілама - на поверхню твердого тіла, в результаті чого на обробленій поверхні утворюється спеціальне захисне покриття у вигляді мономолекулярної плівки.

На оброблюваній поверхні при епіламуванні формується шар орієнтованих молекул, які перешкоджають розтіканню мастила із зони тертя. Плівка має надзвичайно низьку поверхневу енергію, що призводить до істотного зниження коефіцієнта тертя і, як наслідок, до підвищення зносостійкості пар тертя деталей машин і обладнання. Молекули епілама закріплюються на поверхні твердого тіла за рахунок сил хемосорбції. Завдяки тому, що зв'язок епілама з поверхнею хімічна, а не фізична, адгезія захисної мономолекулярної плівки дуже висока.

Одна з важливих переваг епіламування полягає в тому, що воно не змінює структуру оброблюваної поверхні, а лише модифікує її, надаючи поверхні антифрикційні, антиадгезійні, гідрофобні, захисні та інші корисні властивості. Практично незмінними залишаються і геометричні розміри оброблених деталей, оскільки товщина захисного покриття ~4...8 мкм.

При проведенні епіламування молекули епіламуючого складу при контакті з твердим тілом (металом, гумою і т.п.) проникають в його прикордонний шар і утворюють на поверхні мономолекулярну плівку, яка дозволяє знизити коефіцієнт тертя в 2..3 рази, а поверхневу енергію зменшити в ~1000 разів. Це забезпечує поверхні тертя наявність антифрикційних і антиадгезійних властивостей.

Сформована бар'єрна плівка витримує температуру до 400 °С, не руйнується при ударних навантаженнях до 300 кг/мм².

Молекули епілама заповнюють мікронерівності і мікротріщини, знижуючи поверхневу крихкість. Найбільш активно вони взаємодіють з молекулярною структурою основи саме в місцях порушення кристалічної ґратки, створюючи свого роду заплатки і зміцнюючи взаємодіючі поверхні. Таким чином, сама плівка запобігає зносу поверхонь, що взаємодіють, а її структура у вигляді ворсу утримує мастильні матеріали в зоні контакту, чим запобігає сухому терттю.

Постановка завдання.

Таким чином, метою роботи є підвищення ефективності захисту поверхонь деталей (пружної муфти) від фретинг-корозії за рахунок застосування більш ефективного механізму фізико-хімічного впливу на поверхні тертя - епіламування.

Викладення основного матеріалу.

Випробування проводили на базі 10^7 циклів на спеціально виготовленому стенді (рис. 4), що включає: 1 – лічильник циклів; 2 – станину з підшипниковими опорами; 3 – електропривод; 4 – ексцентриковий механізм; 5 – пакет з гнучких елементів; 6 – механізм кріплення гнучких елементів.

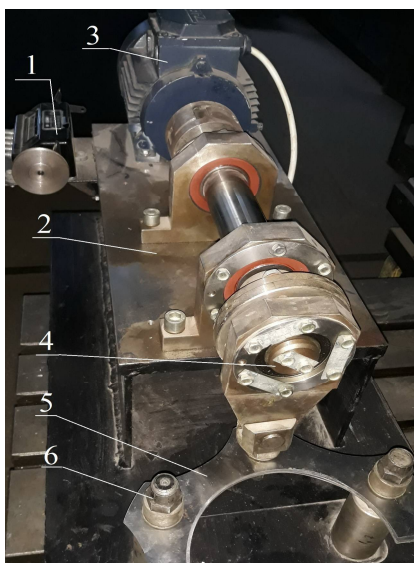


Рис. 4. Стенд для дослідження фретингостійкості.

Величину зносу визначали по зміні шорсткості на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу «Калібр», рис. 5. При цьому результати через спеціальний пристрій видавалися на монітор комп'ютера у вигляді графіків.



Рис. 5. Вимірювання шорсткості на приладі профілограф-профілометри мод. 201 заводу «Калібр».

Для випробувань набирали пакет з гнучких елементів муфти МСК-470, розрізаних навпіл, встановлювали на стенд і скріплювали деталями, згідно табл. 1. Випробування на стенді проводили двома серіями:

- в першій серії всі деталі досліджували без додаткової обробки;

- для другої серії деталі ретельно мили, знежирювали шляхом обробки бензином Б70 «Калоша», ацетоном або бензино-спиртовою сумішшю, поміщали в металевий кошик, занурювали в металеву сміть з розчином для епіламування («Полізам») та кип'ятили при температурі 47-50 °С впродовж 45 хв, так як температура розчинів для епіламування знаходиться в районі 50 °С, а час обробки знаходиться в межах 30-60 хв. Після цього виймали і сушили в сушильній шафі при температурі 110-120 °С впродовж 30 хв.

Результати випробувань зведено в табл. 2. При аналізі даних табл. 2 встановлено, що параметри шорсткості кріпильних деталей (R_a , R_z і R_{max}), оброблених методом епіламування, в порівнянні з необробленими деталями, знизилися, відповідно, в 1,55; 1,53 і 1,39 рази.

Таблиця 2.

Результати досліджень на зносостійкість

Контактуюча поверхня деталі		Шорсткість поверхні, мкм						Коефіцієнт збільшення стійкості		
		до випробувань			після випробувань					
		Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
Шийка болта	Без покриття	0,79	1,97	5,98	1,55	3,58	10,89	1,60	1,52	1,49
	Епілам				0,97	2,35	7,31			
Шийка втулки	Без покриття	0,78	1,12	5,84	1,60	3,03	9,10	1,50	1,76	1,28
	Епілам				1,07	1,72	7,18			
Гайка	Без покриття	1,44	2,87	8,10	2,55	4,14	11,56	1,52	1,29	1,37
	Епілам				1,67	3,20	8,42			
Шайба	Без покриття	0,80	1,81	5,05	1,45	4,91	9,56	1,56	1,70	1,31
	Епілам				0,93	2,88	7,31			

На рис. 6. графічно показано результати вимірювання величини шорсткості поверхні шийки болта, шийки втулки, гайки і шайби.

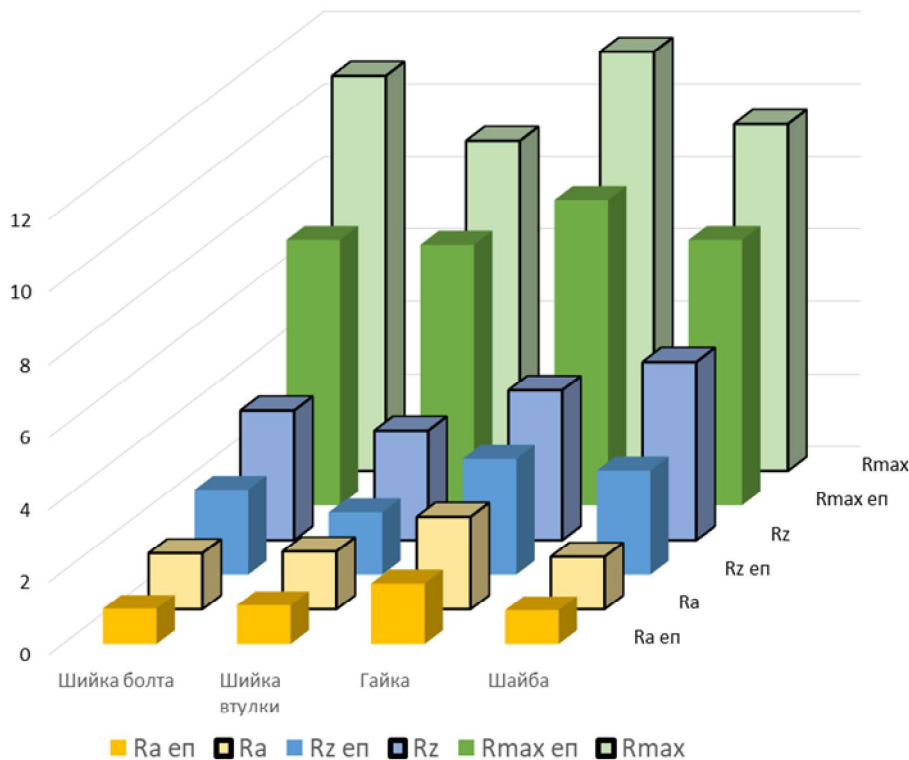


Рис. 6. Результати вимірювання величини шорсткості поверхні шийки болта, шийки втулки, гайки і шайби: 1-й, 3-й і 5-й ряд, відповідно Ra, Rz, Rmax - після епіламування; 2-й, 4-й і 6-й ряд, відповідно Ra, Rz, Rmax - без епіламування.

Висновки:

1. Проведено аналіз найбільш ефективних методів зниження фретинг-корозії кріпильних деталей пружної муфти з гнучкими елементами. Встановлено, що найбільш ефективним механізмом фізико-хімічного впливу на поверхні тертя контактуючих деталей є епіламування.

2. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що параметри шорсткості кріпильних деталей (Ra, Rz і Rmax), оброблених методом епіламування, в порівнянні з необробленими деталями, знизилися, відповідно, в 1,55; 1,53 і 1,39 рази.

Література

1. Лучин Г. А. Газовые опоры турбомашин / Г. А. Лучин, Ю. В. Пешти, А. И. Снопов - М.: Машиностроение. 1989. - 240 с.

2. Белоусов А. И. Конструкция и проектирование уплотнений вращающихся валов турбомашин двигателей летательных аппаратов / А. И. Белоусов, В. А. Зрелов – Куйбышев: изд-во Куйбышевского авиационного института. – 1989. - 108 с.
3. Фалалеев С. В. Торцовые бесконтактные уплотнения двигателей летательных аппаратов. / С. В. Фалалеев, Д. Е. Чегодаев - М.: Изд-во МАИ. – 1998. – 276 с.
4. Марцинковский В.А. Динамика роторов центробежных машин: монография / В.А. Марцинковский. - г. Сумы: Сумский государственный университет. – 2012.- 567 с.
5. John Crane. Power Transmission Couplings. TLK Membrane Coupling for High Power Applications in the Process Industry. www.johncrane.co.uk. John Crane. Power Transmission Couplings. M Series Membrane Coupling for the Oil & Gas. www.johncrane.co.uk.
6. Зенкин А. С. Оценка и прогнозирование напряженно-деформированного состояния соединений с натягом при термических методах сборки / А. С. Зенкин Н. А. Зубрецкая // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. - №6. - С. 9-12.
7. Путро Е. В. Муфты упругие с пакетами кольцевых металлических мембран тип МСК / Е. В. Путро, В. И. Юрко // Монография: Современные энергоэффективные технологии реализации инженерных задач динамического оборудования: монография / Сумы: Тритория, – 2017. – 294 с.
8. Гаркунов Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов, Э. Л. Мельников, В. С. Гаврилюк / – М.: КНОРУС. – 2013. – 408 с.
9. Дроздов Ю. Н. Прикладная трибология (трение, износ и смазка). / Ю. Н. Дроздов, Е. Г. Юдин, А. И. Белов – М.: Эко-Пресс, – 2010. – 604 с.
10. Патент US 2008066288, Кл. В23Р 25/00, В23Р 15/02, опубл. 20.03.2008.
11. Патент RU 2268323, С1, Кл. С23С 28/00, С23С 14/48, С23С 14/58. Способ получения градиентной твердой коррозионностойкой композиции на поверхности образцов из твердых сплавов и легированных сталей / Полещенко К. Н., Мухин В. А., Гринберг П. Б., Борбат В. Ф., Козорог И. Б., Поворознюк С. Н.; патентообладатель ГОУ ВПО "Омский государственный университет", опубл. 20.01.2006
12. Лесневский Л. Н. Фреттинг-коррозия покрытий типа «твердая смазка» в экстремальных условиях эксплуатации / Л. Н. Лесневский // Вестник научно-технического развития Национальная Технологическая Группа № 2 (18), 2009 г. С. 31-35. <http://www.vntr.ru>; <http://www.ntgcom.com>.
13. Підвищення стійкості різального інструменту технологічними методами : навчальний посібник / [Тарельник В. Б., Конплянченко Є. В., Марцинковський В. С. та ін.]; за ред. проф. В. Б. Тарельника. – Суми : Університетська книга, 2011. – 189 с.

Рецензенти:

Тарельник В.Б., д.т.н., проф., зав. кафедрою технічного сервісу Сумського національного аграрного університету
Гапонова О.П., к.т.н., доц. кафедри прикладного матеріалознавства та ТКМ Сумського державного університету.