

УДК 621.891
UDK 621.891

ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ УСТАНОВОК
АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
Білякович О.М., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
Варюхно В.В., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
Кулініч А.В., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
Довгаль А.Г., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
Коба В.П., старший науковий співробітник Національний авіаційний університет, Київ, Україна

EXTENDING THE RESOURCE PARTS POWER PLANTS
AVIATION GROUND EQUIPMENT IN OPERATION

Dmytrychenko M.F, Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine
Bilyakovych O.N., Ph.D, National Aviation University, Kyiv, Ukraine
Varyuhno V.M., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine
Kulinich A.V, Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine
Dougal A.G., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine
Koba V.P., senior researcher, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК
АВИАЦИОННОЙ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКОЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина
Білякович О.Н., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина
Варюхно В.В., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина
Кулинич А.В., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина
Довгаль А.Г., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина
Коба В.П., старший научный сотрудник, Национальный авиационный университет, Киев, Украина

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поршні двигунів внутрішнього згоряння працюють в дуже важких умовах. Температура вихлопних газів в бензинових двигунах може досягати 950-980°C. Тиск в циліндрі в момент робочого ходу досягає 100 кг/см² (рис. 1).

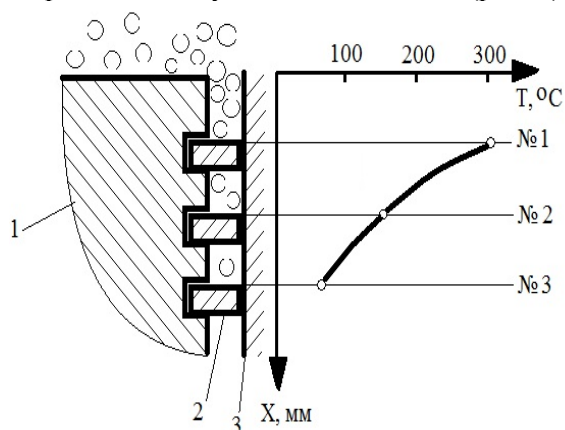


Рисунок 1 – Температурний режим роботи компресійних кілець дизеля ЯМЗ-238:
1 – поршень; 2 – кільце; 3 – гільза

Проблема зміцнення деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння триває вже більше ста років з моменту винайдення та серійного застосування в умовах народного господарства перших двигунів внутрішнього згоряння. Не вщухає цікавість до цього питання і в наш час. Зокрема в роботі [1] було проведено фундаментальне дослідження застосування для зміцнення

алюмінієвих деталей авіаційної техніки електроіскровими покриттями та досліджена можливість застосування дискретних електроіскрових покриттів ті їх вплив на зносостійкість. Автори статті [2] досліджували вирішення проблематики першої канавки шляхом застосування електропроменевої обробки та було запропоновано цей вид обробки для всього складу деталей двигунів внутрішнього згоряння. В результаті було розроблено ряд експериментальних установок, що міг бути використаним для серійного виробництва.

Дослідник роботи [3] пропонує використовувати різноманітний розподіл кремнію в заготовці поршня саме під час відливання силуміну, що дозволить створити зони значно міцніші щодо термічних навантажень в ділянці майбутніх компресійних кілець, що працюватимуть в умовах підвищених температур. Це дуже цікавий підхід, але ускладнює процес виготовлення поршнів, та не має відповіді, що діяти, якщо відбудеться дифузійна гомогенізація складу в процесі експлуатації деталі.

Авторський колектив публікації [4] провадив фундаментальне дослідження застосування вставок в проблемні зони стосовно термічної міцності ті зносостійкості. Вставки пропонувалося виготовляти з алюмінієвого сплаву зміцненого волокнами з оксидів алюмінію, кремнію та заліза в різній концентрації. Дослідники здобули суттєвих результатів високотемпературної зносостійкості порівняної з чавуном, з якого інколи виготовляються компресійні кільця.

Продовжуються дослідження в царині застосування термостійких вставок в першу канавку компресійного кільця. Зокрема в роботі [5] науковці вирішували відому проблему адгезії вставки до тіла поршня. Зокрема було встановлено, що основною причиною адгезійного відшарування вставки є накопичення на межі пластівчастого графіту. Тому для уникнення відшарування пропонується модифікувати структуру силуміну в зоні вставки.

В публікації [6], використовуючи аналітичні та емпіричні методи, автор визначив величини максимального зносу сполучення канавка-кілець, коли воно цілком виходить з ладу в 0,4 мм, порівняно з вихідним 0,08 мм та запропонував формули для розрахунку довговічності сполучення від навантаження, температури та швидкості тертя, визначивши їх як основні фактори, що впливають на зносостійкість сполучення. Про суттєвий вплив режимів роботи та навантаженості двигуна на величини зносу його поршневих канавок було відомо давно, наприклад в роботі [7] дані по режимам роботи різних дизельних двигунів на тисячу годин роботи (табл. 1).

Таблиця 1 – Знос канавок алюмінієвих поршнів дизельних двигунів внутрішнього згоряння в залежності від режимів роботи та матеріалу

P _e , МПа	n, хв-1	P _z , МПа	Температура над кільцем	Матеріал		Знос канавки, мм/тис. год
				поршня	кільця	
0,65	1500	7,5	190-200	АК4	чавун	0,03-0,04
0,65	1500	7,5	190	АК4	чавун	0,02-0,03
0,96	1500	9,0	205	АК4	чавун	0,04-0,05
0,65	1500	7,5	190	АК4	сталь 65Г	0,02-0,03
0,78	1500	9,5	210	АК4	сталь 65 Г	0,04-0,05
0,66	1800	8,6	220-230	АЛ25	чавун	0,05-0,07
0,95	1500	9,5	200-210	АЛ25	чавун	0,03-0,04
0,7	2200-	9,5	240-260	АК4	сталь 65Г	0,4-0,6
0,88	-2600	14,0				
1,45	1500	13,0-14,0	200-205	АЛ25	сталь 65Г	0,1-0,2
1,22	2200	11,0-12,0	250-260	АК4	сталь 65Г	0,2-0,3

Ця таблиця дає змогу зробити дуже важливий висновок, що більш навантажений двигун, то швидше зноси його компресійних канавок наближаються до критичних, а отже для продовження ресурсу циліндрово-поршневої групи бажано знижувати режими роботи двигунів.

В роботі [8] визначено, що основною технологією зміцнення та відновлення поршневих канавок є електроіскрове легування, що є дуже ефективним та перспективним для алюмінієвих сплавів, так як не вчиняє суттєвої термічної дії на легкоплавкий метал (а температура плавлення деяких силумінів складає 510°C, а суттєвої поверхневої пластифікації уже при 300°C) та не створює суттєвої динамічної дії.

Отже з посеред усіх технологічних заходів вирішення проблеми відновлення першої канавки поршня двигунів внутрішнього згорання важливо визначити такі заходи, що були б дешеві при збереженні ефективності, не вимагали складного та витратного обладнання та були доступні в умовах експлуатаційних підприємств в межах чергових профілактичних робіт по двигуну. Все вище викладене дозволяє сформулювати мету дослідження.

Постановка завдання. Основним агрегатом силової установки сучасної авіаційної наземної техніки є двигун внутрішнього згорання, що значно ефективніший та економічніший за авіаційні реактивні двигуни, але потужніший за електричні аналоги. Найбільш навантаженим вузлом двигунів внутрішнього згорання являється циліндрово-поршнева група. Поршні двигунів виготовляються з високоміцних алюмінієвих ливарних сплавів, що втричі легше сталі, а отже значно полегшується проблема балансування цих двигунів. Але водночас з цим постає питання локального підвищення зносостійкості цих сплавів, особливо в умовах високих температур. Зносостійкість поршнів прямо впливає не лише на ресурс, а і на компресію циліндра, а отже і паливну ефективність двигуна. За умовами експлуатації окремих видів авіаційної наземної техніки обладнаної високопотужними та форсованими двигунами внутрішнього згорання нерідкі випадки, коли двигун авіаційної наземної техніки працює від 25% до 40% свого робочого часу на холостому ходу в режимі прогрівання та вибігу, що примушує в деяких видах авіаційної наземної техніки застосовувати інші види силових установок та інші енерго- та ресурсозберігаючі технології. Отже підвищення паливної ефективності та продовження ресурсу енергетичних установок авіаційної наземної техніки значно покращує працездатність обладнання та економічну ефективність експлуатації окремих видів авіаційної наземної техніки. Важливим аспектом усіх технологічних заходів являється їх низька вартість, можливість застосування в умовах експлуатаційних підприємств та ефективність.

Метою дослідження є наукова розробка нових захисних покриттів для зміцнення та відновлення поршнів двигунів авіаційної наземної техніки та аеродромних машин, що містять не коштовні складники та наносяться не дорого коштуючи ми та енергоємними технологічними методами, та були б цілком доступні в умовах експлуатаційних підприємств спецмашин.

Методика проведення дослідження, обладнання та витратні матеріали. Для вивчення взаємозв'язків між властивостями покриттів з їх фазовим складом і структурою, а також впливом зовнішніх факторів велике значення має вибір методів дослідження. Отримання достовірних результатів дослідження в даній роботі забезпечено використанням сучасного обладнання і приладів, перевірених і каліброваних службами метрологічного забезпечення, апробованих методик, необхідною відтворюваністю дослідів, ретельною обробкою зразків до і після експерименту, суворим дотриманням порядку проведення експерименту.

Для проведення дослідження використовувалися натурні поршні серійного двигуна ЯМЗ-238 (рис. 2), що мав напрацювання 3000 тис. мото-годин. Саме з оцупок поршня цього двигуна і виготовлялися зразки для лабораторних випробувань на зносостійкість з нанесеними електроіскровими покриттями.



a)

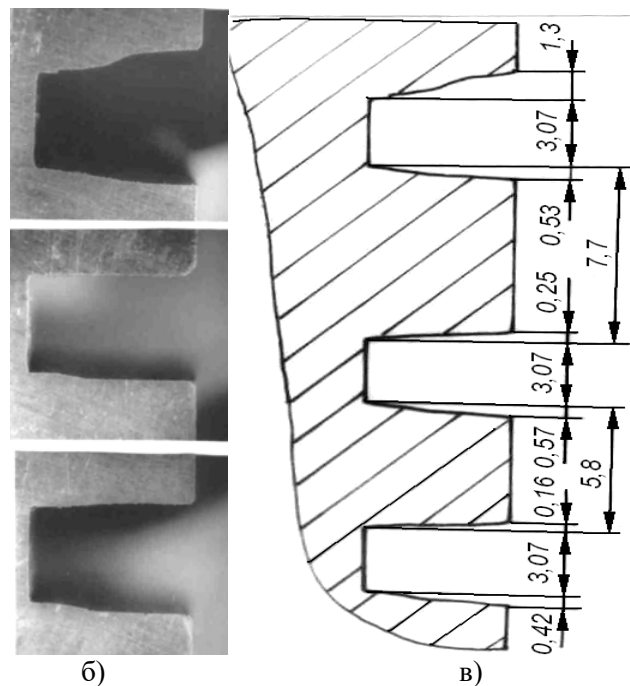


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд поршня (а), канавок поршня зб. 15 (б) та їх профіль зносу (в) двигуна ЯМЗ-238 після 3000 тис. годин експлуатації

Для отримання зразків з алюмінієвого сплаву Ал-25 (ГОСТ 1583-93) циліндричної форми $\text{Ø}20 \times 20$ мм наносили електроіскрові покриття електродами з міді М1 (ГОСТ 1535-91) у вигляді прутка. Для підбору металу легуючого електроду були використані матеріали, що вказані в табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристики компактних матеріалів для електроіскрового легування

Матеріал	Марка	Умови
алюмінієвий сплав	Ал25	ГОСТ 1583-93
мідь	М1	ГОСТ 1535-91
нікель	НП2	ГОСТ 13083-77

Електроіскрові покриття наносили на установці «Елітрон-22» с з вібратором встановленим в пістолеті з вимикачем, промислове застосування установки дозволяє використовувати в комплекті з токарно-гвинторізним верстатом. Установками такого типу можна наносити будь-який струмопровідний матеріал чи то композицію.

Режим обробки – струм короткого замкнення $I_{кз}=80 \dots 100$ А, робочий струм $I_p=10 \dots 20$ А, колова швидкість заготовки $V_c=3,5 \dots 7$ м/хв, частота імпульсів 50 Гц. Таким чином товщина отриманих покриттів складала $0,1 \dots 0,4$ мм.

Дослідження процесу зношування електроіскрових покриттів, в умовах тертя коливання за високих температур в умовах фретинг процесу проводили на лабораторній торцевій машині тертя МФК-1, конструкція якої дозволяє визначати в процесі експерименту коефіцієнт тертя. Підігрів до робочих температур виконувався за допомогою високочастотної індукційної котушки довкола вузла тертя.

В якості контр тіла (рухомого зразка) використовували сталевий зразок 40Х9С2 (HRC 75–80), виходячи з наступних міркувань, компресійні кільця двигунів внутрішнього згоряння здебільш виготовляються з сірого чавуну марок СЧ але для підвищення теплостійкості до $350 \text{--} 400^\circ\text{C}$ в нього додавали легуючі присадки Cr, Ni, Mo, Cu, W. До того ж поверхня чавунних компресійних кілець двигунів внутрішнього згоряння вкривається електролітичним пористим хромовим покриттям $0,1 \text{--} 0,2$ мм завтовшки. Тож такий склад легованої хромом сталі якнайкраще моделює склад та властивості чавунного вкритого хромом компресійного кільця. Нагрівальний елемент дозволяв підвищувати температуру до 700°C , а саме використовувалися три режими 20°C , 150°C , та 300°C , для дослідження впливу температури та моделювання окремо роботи першого, другого та третього компресійного

кільця. В процесі експерименту на кожне значення випробовувалось 3–5 зразків, а остаточні параметри визначались як середні значення з отриманих даних.

Для дослідження структури і фазового складу ЕІЛ покриттів на сплаві Ал-25, а також поверхонь їх тертя проводили металографічний, рентгенофазовий (РФА) і мікрорентгеноспектральний (МРСА) аналізи. Металографічний аналіз досліджуваних матеріалів проводили на оптичних мікроскопах МИМ-8 і ЛСМ.

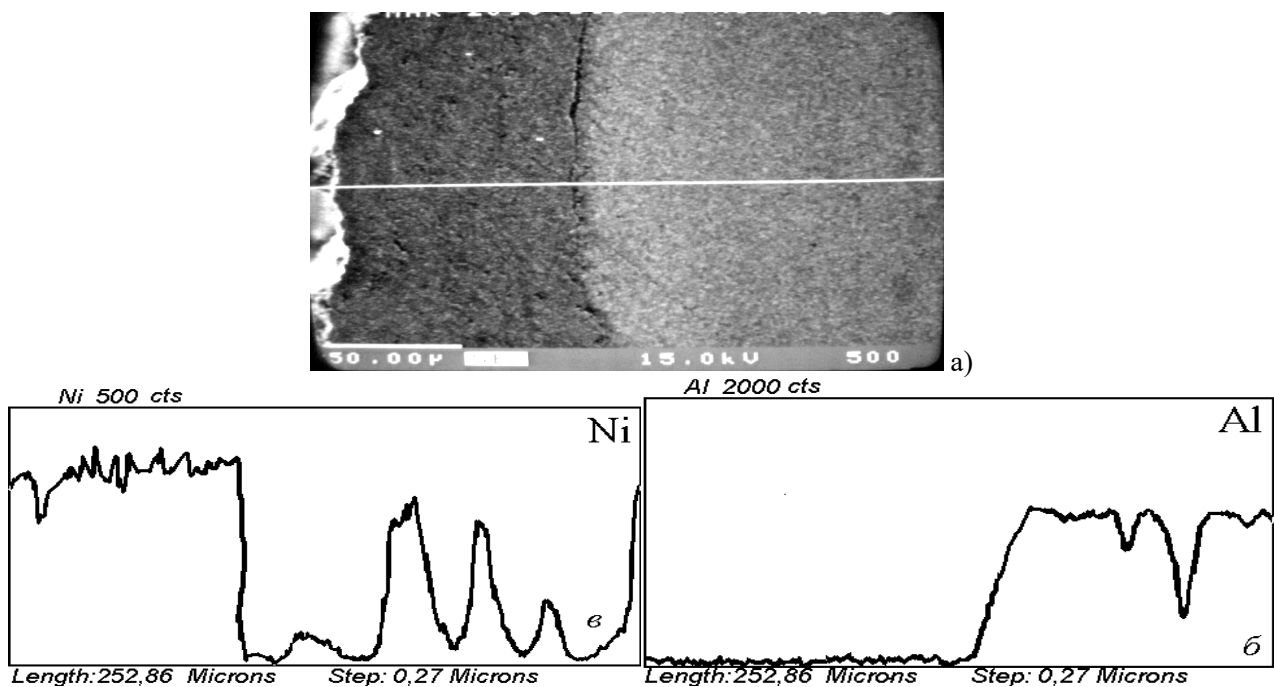
Рентгенофазовий аналіз зразків виконували на рентгеновському дифрактометрі ДРОН-2.0в Сука-випроміненні. Мікрорентгеноспектральний аналіз та отримання електронних зображень поверхонь проводили на електронних мікроскопах Самеса SX 50 та РЭМ-106И.

Для дослідження структури, фазового складу, а також розподілу і складу елементів в кожній з фаз поверхонь тертя електроіскрових покриттів, використовували мікрорентгеноспектральний аналіз (МРСА) на мікроаналізаторі Самеса SX 50 і електронному мікроскопі РЭМ-106И.

Результати досліджень та їх обговорення. Правильний вибір структурних складових являється одним із головних завдань для створення захисних зносостійких покриттів. Для отримання захисних покриттів з використанням електрофізичних методів нанесення потрібно ретельно дослідити сумісність матеріалів та кінетику масо переносу та його напрямок. Кінетика масопереносу та сумісність матеріалів електродів з алюмінієвими сплавами були ретельно досліджені в роботі [1], у результаті чого було встановлено, що для легування алюмінієвих сплавів доцільно використовувати мідні та нікелеві електроди.

Для з’ясування адгезійних властивостей майбутнього покриття та мінімізації впливу на матеріалі підкладки Ал-25, що володіє досить низькими фізико-механічними властивостями, були нанесені два покриття з цих металів на зразки зі сплаву Ал-25 та ретельно досліджена їх мікроструктура на електронному мікроскопі “САМЕСА”. Покриття наносили на установці електроіскрового легування «Элитрон-22» з використанням наступних режимів нанесення. Для отримання нікелевого покриття на сплаві Ал-25 методом визначення найбільш інтенсивного масопереносу було обрано наступні режими ($I_p \leq 10 \dots 15A$). Для отримання мідного покриття на сплаві Ал-25 методом визначення найбільш інтенсивного масопереносу було використано режим ($I_p \leq 10 \dots 30A$). Мікроструктура отриманих покриттів показана на рис. 3. та рис. 4. відповідно.

Таким чином нікелеве електроіскрове покриття на сплаві Ал-25, структура чого представлена на рис. 3. (а) відрізняється різкою межею «пориття-підкладка» та низькою дифузійною проникністю основного компоненту підкладки алюмінію в нікелеве покриття, що можливо і зумовило виникнення адгезійних тріщин на межі (угорі рис. 3. а). Мікрорентгеноспектральний аналіз цього покриття по трьом основним (що мають найбільшу концентрацію) елементам дає підстави зробити висновки, що кремній, невід’ємна складова силуміну, вступає в активну реакцію з дифузійно проникним нікелем з утворення нових хімічних з’єднань – сілцидів нікелю, що також будучи новими хімічними утвореннями в цій системі значно погіршують фізико-механічні властивості «покриття-підкладка».



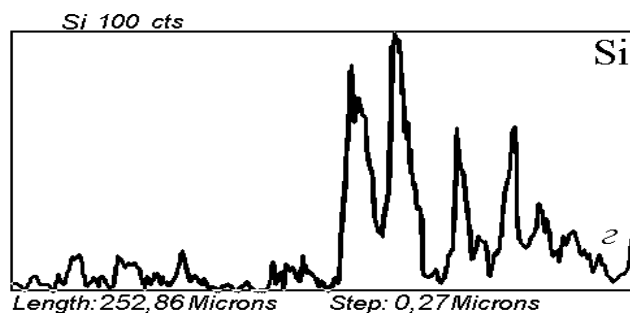


Рисунок 3 – Мікроструктура електро-іскрового легованого покриття на основі нікелю (а) на підкладці зі сплаву Ал-25 та розподіл в ній: б) – алюмінію; в) – нікелю; г) – кремнію

На цій підставі нікель, як компонент для електрофізичного покриття для канавок поршнів двигунів внутрішнього згоряння авіаційної наземної техніки було відкинута, як покриття, що матиме низьку адгезію.

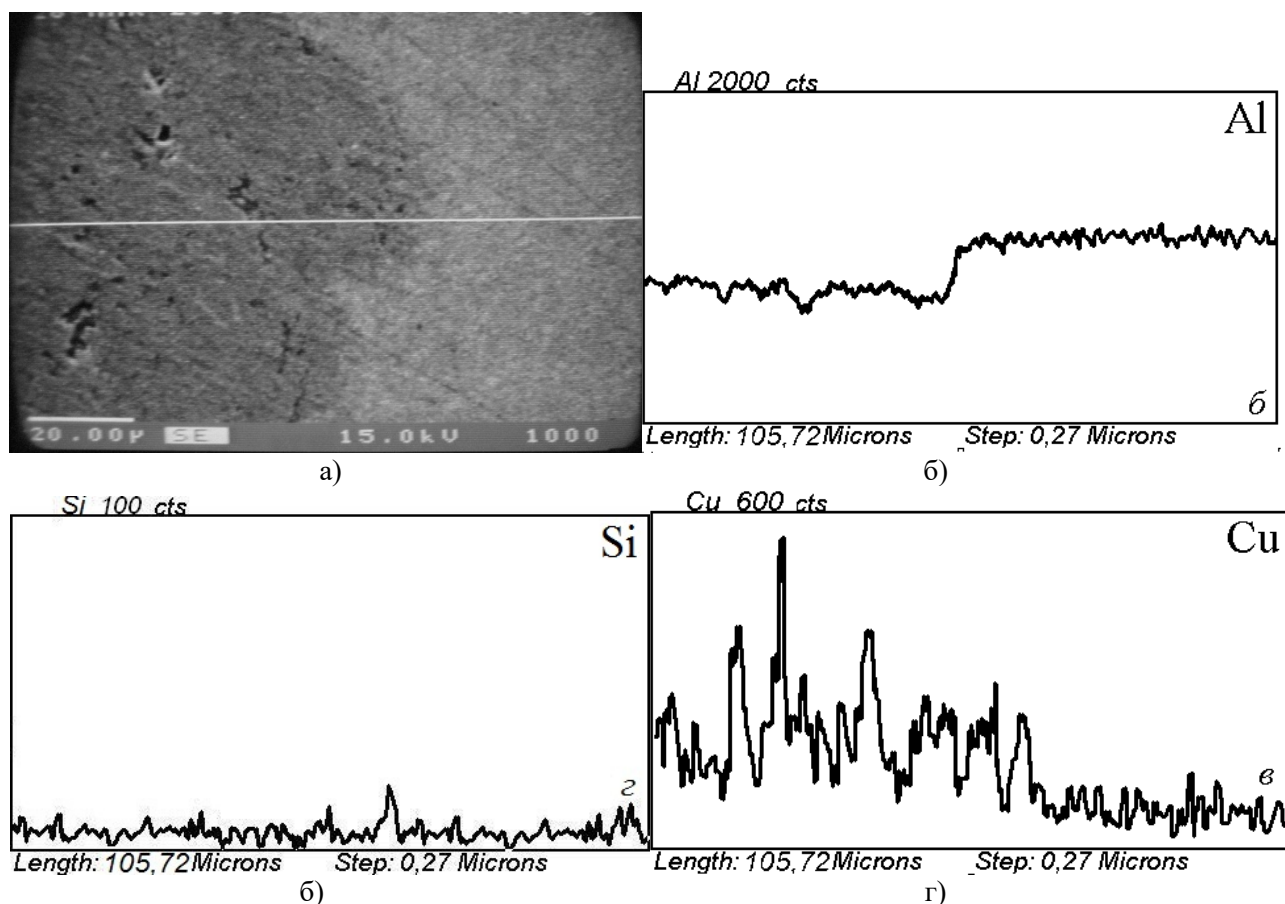


Рисунок 4 – Мікроструктура електро-іскрового легованого покриття на основі міді (а) на підкладці зі сплаву Ал-25 та розподіл в ній: б) – алюмінію; в) – міді; г) – кремнію

Мідне електроіскрове (ЕІЛ) покриття, структура якого представлена на рис. 4 (а) має дуже розмиту та хвилясту межу «покриття-підкладка» та більш світлий фазовий контраст покриття свідчить про те, що має місце перехідний дифузійний шар мідних та алюмінієвих сполук.

Слід також відзначити про підвищений вміст шлакових включень, усунути які можна оптимізацією режимів. Про елементний склад цього електрофізичного покриття дають вичерпне уявлення результати мікрорентгеноспектрального аналізу.

Так, як видно з рис. 4 (б) та (в) основа покриття це сполуки на основі міді та алюмінію, що містять фази різного стехіометричного вмісту. Мідь дуже активно проникає в підкладку та фіксується в ній на рівні 100 імпульсів. Кремній, як основний компонент силуміну, рівномірно розподіляється, як в покритті,

так і в підкладці не утворюючи суттєвих агрегатів та хімічних з'єднань, це узгоджується з матеріалознавчою природою кремнію, і в міді, і в алюмінію він обмежено розчинний та утворює механічні суміші. Отже загальний металографічний та компонентний аналіз електроіскрових покриттів на основі нікелю та міді дає можливість зробити остаточний вибір компоненту покриття на користь міді, що вимагає більш ретельного дослідження мідного покриття на основі силуміну.

Мікроструктура мідного електроіскрового покриття на сплаві Ал-25 отримана на мікроскопі РЕМ-106И показана на рис. 5., де зазначені ділянки мікрорентгеноспектрального аналізу відсоткового вмісту елементів кожної з найбільш характерних ділянок фазового контрасту. Вміст основних елементів цих фаз, концентрація котрих суттєво перевищує фоновий рівень домішок наведена в таблиці 3. Як можна констатувати з проведеного аналізу матриця покриття (спектр 2) являє собою твердий розчин алюмінію в міді, бо, як відомо, алюміній розчинний в міді до 10% в твердому стані. Основні зміцнюючі фази покриття найбільш ймовірно являють собою хімічні з'єднання інтерметалідного характеру алюмінію та міді різного стехіометричного співвідношення. Структура підкладки змінилася не суттєво та складається з фаз 4, 5 та 6 на сонові алюмінію та кремнію з дифузійним проникнення міді та дещо підкисленими.

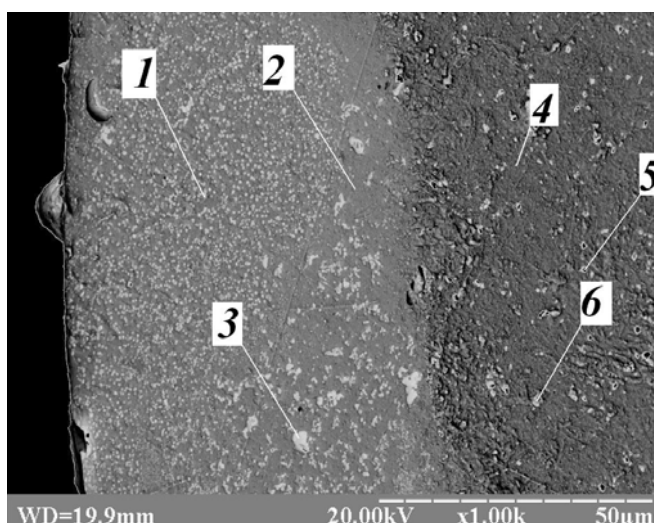


Рисунок 5 – Мікроструктура електроіскрового покриття мідним електродом на зразках зі сплаву Ал-25 у вторинних електронах зі вказанням ділянок мікрорентгено-спектрального аналізу (табл. 3)

Вичерпне уявлення про фазовий склад електроіскрового мідного покриття на алюмінієвій матриці надає рентгенофазовий аналіз, результати якого представлені на рис. 6. Так, в результаті розшифрування рентгенограми було виявлено фази Cu, Al та хімічні з'єднання інтерметаллідів Cu_3Al , Cu_3Al_4 та ще однієї інтерметалічної фази проміжного стехіометричного співвідношення.

Таблиця 3 – Результати МРСА ділянки покриття рис. 5

Спектри	Al	Cu	Si	O
Спектр 1	58.53	34,45	-	0.89
Спектр 2	18,99	73,44	-	0,98
Спектр 3	29.90	65,14	-	0.93
Спектр 4	89.02	1,02	10.98	0,01
Спектр 5	85.02	0,15	12.98	0,07
Спектр 6	81.02	0,07	14.98	5,03

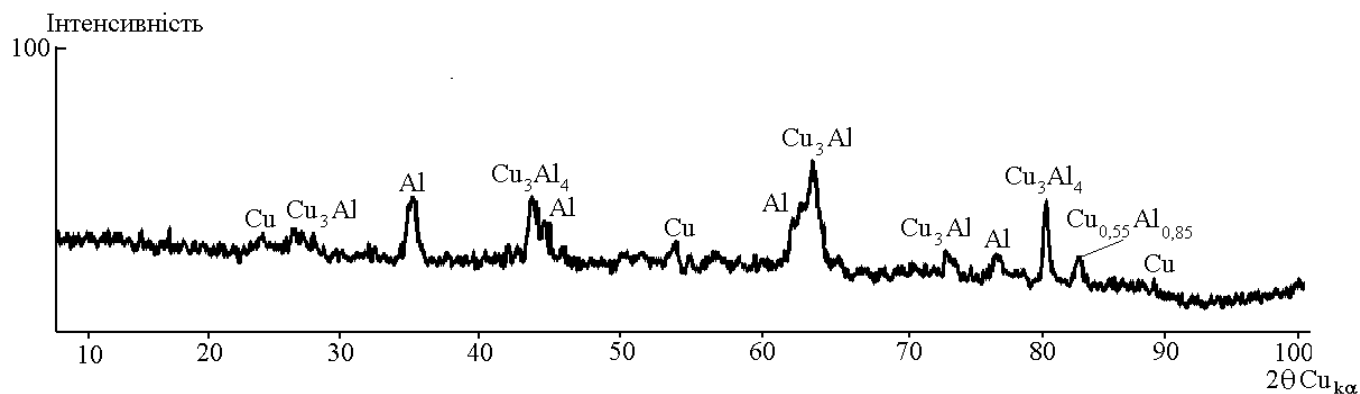


Рисунок 6 – Рентгенограма поверхні електроіскрового мідного покриття на підкладці Ал-25

Ці проміжні інтерметалічні фази мабуть і являються зміцнюючими включеннями в електроіскровому покритті, що мають суттєво підвищити його зносостійкість.

Так, як електроіскрові однокомпонентні покриття призначалися для роботи в якості захисту канавок компресійних поршневих кілець двигунів внутрішнього згорання, то і режими триботехнічних випробувань були вибрані такими, які моделюють умови роботи пари канавка-кілець в умовах найбільш сталих режимів роботи двигунів внутрішнього згорання. А саме, за частот коливання 30 Гц, що відповідає середнім частотам обертання колінчатого валу, що вчиняє циклічну дію на ущільнюючий вузол поршня для частот обертання колінчастого 1800 об/хв відповідно до номінального режиму роботи двигунів внутрішнього згорання і навантажень у 1000 Н, що відповідає навантаженню на контактну ділянку тертя у 20 МПа, так як саме така максимальна величина тиску на бічну контактну ділянку системи «канавка-кілець» в момент робочого ходу [6], амплітуда складала 10 мкм – в межах робочих зазорів нової пари, база випробувань складала 5×10^5 циклів, – ці показники залишалися постійними та незмінними при всій серії випробувань мідних електроіскрових покриттів різного режиму нанесення, а решта факторів варіювалася для оптимізаційних цілей технологічних рішень.

Триботехнічні випробування проводились за схемою «площина-площина» на модифікованій машині тертя МФК-1, що дозволяє контрольований підігрів зони тертя та вимірювання середнього значення коефіцієнта тертя. В якості матеріалу контртіла було вибрано сталь 40X9C2 (HRC 75–80), що близька за складом до чавунних кілець з електролітичним хромовим покриттям для дослідження можливості застосування покриття в парі тертя "канавка-кілець". При цьому досліджувались при постійному робочому струмі нанесення $I_p = \text{const}$, досліджували вплив температури в зоні трибоконтакту на інтенсивність зношування і коефіцієнти тертя відповідно, так як три компресійні кільця поршня працюють у край різноманітних температурних умовах (рис. 1), отже можуть вимагати й різних режимів зміцнення.

Для дослідження впливу режиму нанесення, а мідь є дуже чутливою до режиму нанесення [1], використовувалися три режими (табл. 4).

Таблиця 4 – Режими нанесення покриттів (електро-іскрове легування)

Режим нанесення	Робочий струм, I_p А	Час обробки поверхні, с
1 режим	10	160
2 режим	20	160
3 режим	30	160

Результати триботехнічних випробувань електрофізичних покриттів за постійного режиму нанесення показали, що зі збільшенням температури інтенсивність зношування монотонно зростала для всіх режимів нанесення крім першого, у якого спостерігається підвищення зносостійкості до 300°C.

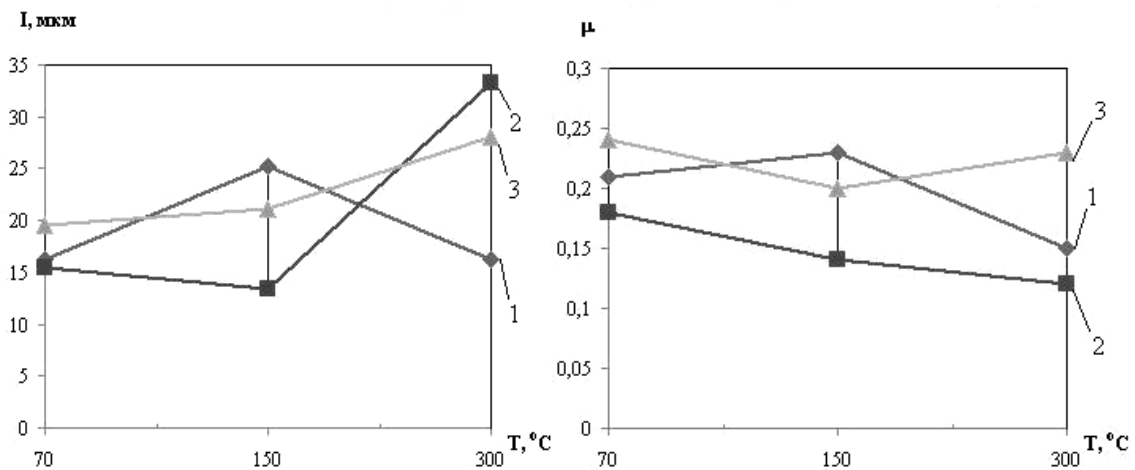


Рисунок 7 – Залежність інтенсивності зношування (а) і коефіцієнту тертя (б) від температури випробування для різних режимів нанесення мідного покриття (електро-іскрове легування): 1 – 10 А; 2 – 20 А; 3 – 30 А

Таким чином у діапазоні робочих температур для першої поршневої канавки (300°C) найкращі характеристики 16,2 мкм показав режим 1.

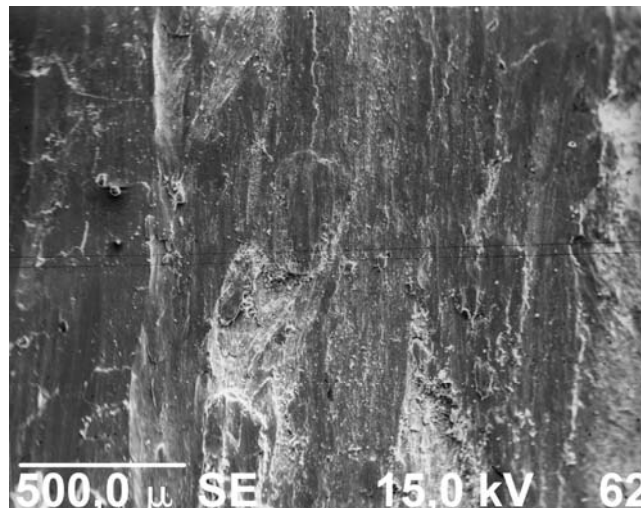


Рисунок 8 – Мікрофотографія поверхні тертя для зразка з мідним покриттям (електро-іскрове легування) 1-го режиму нанесення випробуваного за температури 300°C. зб. 62

Для другої канавки поршня (150°C) мінімальні значення зношування 13,47 мкм показав 2-гий режим нанесення покриття, тому цей режим найбільш пасує для другої канавки, а для першої канавки найбільш оптимальним значенням для робочої температури є другий режим нанесення зі значенням зношування 15,5 мкм (рис. 7).

Коефіцієнти тертя при випробуванні електрофізичних покриттів в залежності від температури у зоні тертя змінюється в межах від 0,12 до 0,24. Для обраних режимів нанесення у випадку першої канавки поршня в робочих режимах випробувань коефіцієнт тертя складає 0,21, для режимів зміцнення другої канавки поршня 0,14, а для режиму зміцнення третьої канавки коефіцієнт тертя складає 0,18, що свідчить про те, що матеріали працюватимуть в антифрикційній зоні, та до суттєвих задирих схоплювання та спотворювання ущільненої поверхні не призведе, до того ж в другу та третю канавки поршня можливе проникнення суттєвої кількості оливи.

Для пояснення отриманих результатів поверхні тертя зразків з розроблених електрофізичних покриттів були досліджені на електронному мікроскопі «САМЕСА SX 50». Структура зони тертя композиційних матеріалів при збільшенні 62 представляє собою поверхню досить гладкої морфології без суттєвих пошкоджень (рис. 8.), що має ділянки, що нагадують лускаті нашарування. Ці острівні

ділянки були більш ретельно досліджені (при збільшенні $\times 200$, рис. 9.) та було встановлено, що поверхня тертя представляє собою суцільну складну оксидну плівку, що містить оксиди міді, алюмінію та заліза, що було перенесено з поверхні матеріалу контр тіла.

Про це свідчать результати поелементного мікрорентгеноспектрального аналізу, що розміщено під (рис. 9б-д). Ця потрійна оксидна система з амфотерних металів в певному стехіометричному співвідношенні створює вищу оксидну сполуку з вільним обміном киснем між металами – учасникам цієї системи. Така структура має міцний адгезійний зв'язок до основи покриття, та надійно у якості «третього тіла» захищає від адгезійної взаємодії та мінімізує зношування. В тих місцях де відбувається відхилення від стехіометричного складу трикомпонентної окисної системи вона втрачає свої аморфні властивості та відшаровується від поверхні, як це має місце праворуч зображення (рис. 9а). Такий механізм зношування описано в роботі Б.І. Костецького, він відноситься до окиснювального типу і являється сприятливим з точки зору зносостійкості пари тертя, оскільки продукти взаємодії у вигляді вивільненого вуглецю грають роль твердого мастила.

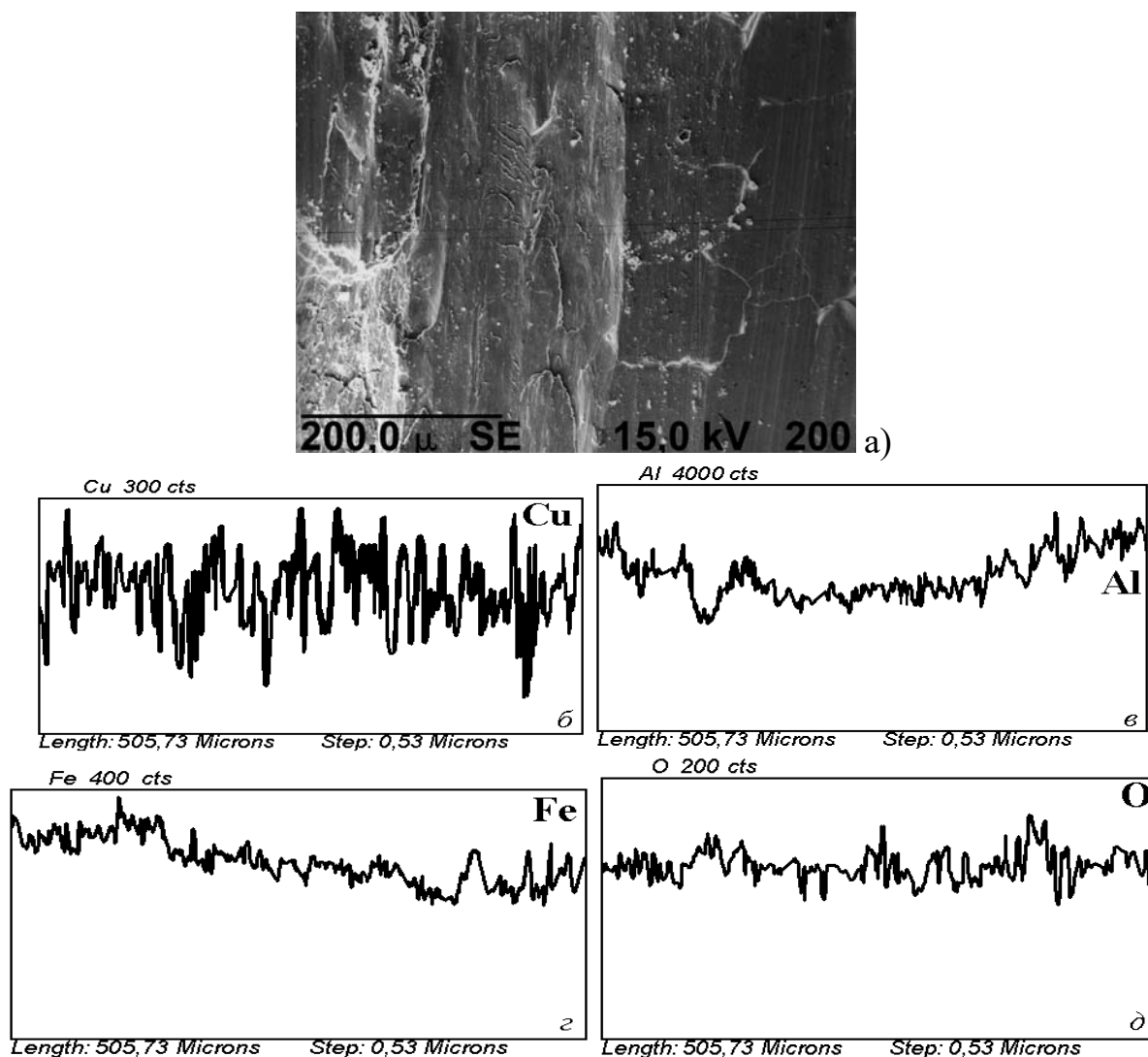


Рисунок 9 – Мікрофотографія поверхні тертя (а) для зразка з покриттям 2-го режиму та розподіл в ній: (б) – хрому; (в) – нікелю; (г) – кисню; (д) – заліза

Отже в результаті структуроутворення електрофізичного покриття та випробування його на зносостійкість в умовах близьких до роботи майбутніх виробів було визначений такий його технологічний режим отримання, що інтенсифікує його окисний механізм зношування та є оптимальним для його поверхневої міцності.

Висновки

1. Дослідження структури та адгезійних якостей електроіскрового покриття на основі нікелю та міді було визначено, що нікелеві покриття досить компактні та володіють низькою адгезією до силуміну Ал-25, а мідні покриття мають високу адгезію, та задовільно наносяться з моменту встановлення прямої полярності електроіскрового процесу.

2. Досліджені триботехнічні характеристики розроблених електрофізичних покриттів в умовах, що моделюють роботу пари «поршнева канавка-кільце», встановлено, що при для першої поршневої канавки компресійного кільця доцільно використовувати 1 режим зміцнення електро-іскровим легуванням, а для 2 та 3 канавки 2-гий режим зміцнення мідним електроодом.

3. Встановлені механізми зношування розроблених електрофізичних покриттів і сталі при терті в умовах фретинг-зношування без мастильних матеріалів в парі зі сталевим контртілом із 40Х9С2. Показано, що високі значення триботехнічних характеристик покриттів пояснюються утворенням в процесі тертя складних плівок на основі оксидів міді, заліза та алюмінію, тобто реалізується окиснювальний механізм зношування.

4. Синтез та дослідження отриманих покриттів дозволяє рекомендувати їх впровадження в якості захисних покриттів для канавок компресійних кілець сучасних двигунів внутрішнього згорання авіаційної наземної техніки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Довгаль А.Г., Бурдюженко Л.В., Ткаченко І.В. Зносостійкі електроіскрові покриття для підвищення довговічності кінематичних сполучень авіаційної техніки. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Серія Г. Збірка наукових праць. – К.: 2003. С. 313-320.

2. Радченко М.В., Радченко В.Г., Шевцов Ю.О., Кровяков К.С. Проблемы и перспективы использования электроннолучевых технологий в дизелестроении. – Ползуновский вестник. – № 4, – 2006. – С. 325-329.

3. Jonathan A. Lee Cast Aluminium Alloy for High Temperature Application. –The Minerals, Metals & Materials Society, 2003, 245-247.

4. Wu Shenqing, Li Jun Application of ceramic short fiber reinforced Al alloy matrix composite on piston for internal combustion engines. – China foundry. – 2010. – Vol. 7. – No. 4. P. 408-411.

5. Ahu Fahriye Acar, Fahrettin Ozturk, Mustafa Bayrak Effects of variations in alloy content and machining parameters on the strength of the intermetallic bonding between diesel piston and ring carrier. – Materials and technology. – No. 44. – 2010. – P. 391–395.

6. Гасангусенов О.Г. Расчетно-экспериментальное исследование влияния температуры, нагрузки и скорости скольжения на долговечность сопряжения канавка-поршневое кольцо малоразмерного дизеля. – Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2013. - № 1. С. 111-116.

7. Исследование износостойкости и контактной выносливости упрочненных поверхностей материалов для гильз и поршней внутреннего сгорания. Отчет о НИР. х/д 287., Отв. исп. В. В. А. П. Полешко. – К, КПИ, - 1979. –131 с.

8. Дударева Н.Ю. Упрочнение верхних поршневых канавок двигателе йвнутреннего сгорания методом искрового упрочнения. – Вестник УГАТУ, 2010. – Т. 14, № 3 (38). – С. 111-115.

REFERENCES

1. Dougal AG, Burdyuzhenko LV, Tkachenko IV Wear-resistant electrical discharge coating for durability kinematic connections aircraft. // Modern processes of machining tools from the STM and the surface quality of machine parts. Series G. The collection of scientific works. . - Moscow: 2003, 313-320 pp.

2. Radchenko M.V., Radchenko V.G., Shevtsov J.O., Krovayakov K.S. Problems and prospects of using electron-beam technologies in diesel building. - Polzunovsky Gazette. - № 4 - 2006. - P. 325-329.

3. Jonathan A. Lee Cast Aluminium Alloy for High Temperature Application. –The Minerals, Metals & Materials Society, 2003, 245-247.

4. Wu Shenqing, Li Jun Application of ceramic short fiber reinforced Al alloy matrix composite on piston for internal combustion engines. – China foundry. – 2010. – Vol. 7. – No. 4. P. 408-411.

5. Ahu Fahriye Acar, Fahrettin Ozturk, Mustafa Bayrak Effects of variations in alloy content and machining parameters on the strength of the intermetallic bonding between diesel piston and ring carrier. – Materials and technology. – No. 44. – 2010. – P. 391–395.

6. Gasangusenov O.G. Design and experimental study of the effect of temperature, load and sliding speed on the durability of coupling groove-small-sized diesel engine piston ring. - Herald ASTU. Ser. : Marine engineering and technology. - 2013. - № 1. P. 111-116.

7. Study of wear resistance and contact fatigue surface hardening materials for liners and pistons of internal combustion. Research report. x / d 287, Ed. App. VV AP Poleshko. - K, KPI - 1979. -131 p.

8. Dudareva N.Y. Hardening grooves upper piston internal combustion engine by the spark hardening. – Herald USATU, 2010. - Т. 14, № 3 (38). – P. 111-115.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Продовження ресурсу деталей силових установок авіаційної наземної техніки в умовах експлуатації / М.Ф. Дмитриченко, О.М. Білякович, В.В. Варюхно, А.В. Кулініч, А.Г. Довгаль, В.П. Коба // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

У статті розглянуто питання продовження ресурсу та відновлення деталей циліндрово-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння. Розроблена методика моделювання умов роботи пари «канавка-кільце» двигунів та проведено дослідження зносостійкості алюмінієвого сплаву Ал-25 з електроіскровими покриттями різного складу в парі з легованою хромом сталлю в умовах високотемпературного фретинг-процесу. Досліджено механізми зношування та визначені оптимальні режими зміцнюючої обробки канавок для поршневих кілець поршнів двигунів внутрішнього згоряння.

Об'єкт дослідження – захисні покриття для зміцнення та відновлення поршнів двигунів авіаційної наземної техніки та аеродромних машин.

Метою дослідження є наукова розробка нових захисних покриттів для зміцнення та відновлення поршнів двигунів авіаційної наземної техніки та аеродромних машин, що містять не коштовні складники та наносяться не дорого коштуючи ми та енергоємними технологічними методами, та були б цілком доступні в умовах експлуатаційних підприємств спецмашин.

Метод дослідження – для дослідження структури і фазового складу електроіскрових покриттів на сплаві Ал-25, а також поверхонь їх тертя проводили металографічний, рентгенофазовий (РФА) і мікрорентгеноспектральний (МРСА) аналізи.

В результаті структуроутворення електрофізичного покриття та випробування його на зносостійкість в умовах близьких до роботи майбутніх виробів було визначений такий його технологічний режим отримання, що інтенсифікує його окисний механізм зношування та є оптимальним для його поверхневої міцності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВІАЦІЙНА НАЗЕМНА ТЕХНІКА, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ЛЕГУВАННЯ.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F. Extending the resource aviation ground equipment propulsion components under operating conditions / N.F. Dmitrichenko, O.N. Bilyakovich, V.V. Varyuhno, A.V. Kulinich, A.G. Dougal, V.P. Koba / Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2017. – Issue 3 (39).

In the article the question of extending the service life and the restoration of parts is cylindrical-piston internal combustion engines. A method for modeling a pair of working conditions "groove-ring" motors and studied durability of aluminum alloy Al-25 with electric-spark coatings of different composition paired with a chromium alloyed steel for high temperature fretting process. The mechanisms of wear and identify optimal modes of hardening of grooves for piston rings pistons of internal combustion engines.

The object of the study is coatings for reinforcing and restoring the pistons of engines of aircraft ground equipment and airfield vehicles.

The purpose of the research is the scientific development of new protective coatings for strengthening and restoring piston engines of aircraft ground equipment and airfield machines containing inexpensive

components and are applied inexpensively and by non-energy-intensive technological methods and would be quite accessible in the conditions of the operating enterprises of special vehicles.

Research method – metallographic, X-ray phase (XRF) and micro-X-ray spectral analyzes (MRSA) were used to study the structure and phase composition of the electrospark coatings on the Al-25 alloy and also their friction surfaces.

As a result of structuring and testing of electro coating it on wear resistance in conditions close to the future products was defined such its technology acquisition mode that intensifies its oxidative deterioration mechanism and is optimal for its surface strength.

KEY WORDS: AVIATION GROUND EQUIPMENT, WEAR RESISTANCE, DOPING.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Продление ресурса деталей силовых установок авиационной наземной техники в условиях эксплуатации / Н.Ф.Дмитриченко, О.Н.Білякович, В.В. Варюхно, А.В. Кулінич, А.Г. Довгаль, В.П. Коба / Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2017. – Вып. 3 (39).

В статье рассмотрен вопрос продления ресурса и восстановления деталей цилиндрично-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Разработана методика моделирования условий работы пары «канавка-кольцо» двигателей и проведено исследование износостойкости алюминиевого сплава Ал-25 с электроискровыми покрытиями различного состава в паре с легированной хромом сталью в условиях высокотемпературного фреттинг-процесса. Исследованы механизмы изнашивания и определены оптимальные режимы упрочняющей обработки канавок для поршневых колец поршней двигателей внутреннего сгорания.

Объект исследования – покрытия для укрепления и восстановления поршней двигателей авиационной наземной техники и аэродромных машин.

Целью исследования является научная разработка новых защитных покрытий для укрепления и восстановления поршней двигателей авиационной наземной техники и аэродромных машин, содержащие не дорогие составляющие и наносятся недорогостоящими и неэнергоёмкими технологическими методами, и были бы вполне доступны в условиях эксплуатационных предприятий спецмашин.

Метод исследования – для исследования структуры и фазового состава электроискровых покрытий на сплаве Ал-25, а также поверхностей их трения проводили металлографический, рентгенофазовый (РФА) и микрорентгеноспектральный (МРСА) анализы.

В результате структурообразования электрофизического покрытия и испытания его на износостойкость в условиях близких к работе будущих изделий было определен такой его технологический режим получения, что интенсифицирует его окислительный механизм износа и является оптимальным для его поверхностной прочности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВИАЦИОННАЯ НАЗЕМНАЯ ТЕХНИКА, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ, ЛЕГИРОВАНИЕ

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318.

Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, професор кафедри «Технологій аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Україна, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Варюхно Володимир Васильович, к.т.н., доцент кафедри технологій аеропортів аерокосмічного інституту національного авіаційного університету, 406-76-94, 0973236508, varijukhno@ukr.net

Кулінич Олексій Васильович, к.т.н., доцент кафедри технологій аеропортів аерокосмічного інституту національного авіаційного університету, 406-76-94, 0671348252, kafedra_ta@mail.ru

Довгаль Андрій Григорович, к.т.н., доцент кафедри технологій аеропортів аерокосмічного інституту національного авіаційного університету, 406-76-94, 0977253879, 270579@ukr.net

Коба Віктор Петрович с.н.с., доцент кафедри технологій аеропортів аерокосмічного інституту національного авіаційного університету, 406-76-94, 0986033076, kafedra_ta@mail.ru

AUTHOR:

Dmytrychenko Mykola F., Doctor of Technical Science, National Transport University, professor of the Manufacturing, repair and materials engineering department, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 318.

Bilyakovych Oleg N., associate professor, National Aviation University, associate professor department of technologies of air-ports, e-mail: oleg65@voliacable.com, tel. (044)4067694, Ukraine, 03680, Kyiv, b. Cosmonaut of Komarova, 1, of. 1.409.

Varyuhno Vladimir, V., National Aviation University, Associate Professor of Technology airports Institute of Aerospace, 406-76-94, 0973236508, varijukhno@ukr.net

Kulinich Oleksey V., National Aviation University, Associate Professor of Technology airports Institute of Aerospace, 406-76-94, 0671348252, kafedra_ta@mail.ru

Dougal Andrey G., National Aviation University, Associate Professor of Technology airports Institute of Aerospace, 406-76-94, 0977253879, 270579@ukr.net

Koba Victor P., National Aviation University, Associate Professor of Technology airports Institute of Aerospace, 406-76-94, 0986033076, kafedra_ta@mail.ru

АВТОРЫ:

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко, 1, к. 318.

Биликович Олег Николаевич, кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, профессор кафедры «Технологий аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Украина, 03680, м. Киев, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Варюхно Владимир Васильевич, к.т.н., доцент кафедры технологий аэропортов аэрокосмического института национального авиационного университета, 406-76-94, 0973236508, varijukhno@ukr.net

Кулинич Алексей Васильевич, к.т.н., доцент кафедры технологий аэропортов аэрокосмического института национального авиационного университета, 406-76-94, 0671348252, kafedra_ta@mail.ru

Довгаль Андрей Григорьевич, к.т.н., доцент кафедры технологий аэропортов аэрокосмического института национального авиационного университета, 406-76-94, 0977253879, 270579@ukr.net

Коба Виктор Петрович, с.н.с., доцент кафедры технологий аэропортов аэрокосмического института национального авиационного университета, 406-76-94, 0986033076, kafedra_ta@mail.ru

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, професор кафедри екології та технологій аеропортів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gutarevych Yu.F. Doctor of Technical Science, National Transport University, Head of the of engines and heating department, Kyiv, Ukraine.

Tamargazin O.A., Doctor of Technical Science, National Aviation University, Professor department ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine.