РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ"

КАТЕДРА „РЕМОНТ, НАДЕЖДНОСТ И ХИМИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ"

маг. инж. Георги Пенчев Кадикянов

ПОВИШАВАНЕ ТРАЙНОСТТА НА ДЕТАЙЛИ ОТ АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ ОТ ЗЕМЕДЕЛСКАТА И ТРАНСПОРТНАТА ТЕХНИКА

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация

за присъждане на образователна и научна степен

“ДОКТОР”

научна специалност

„Механизация и електрификация на растениевъдството”

Научни ръководители:

доц. д-р инж. Васил Антонов Стоянов

проф. д-р инж. Емил Маринов Иванов

Русе, 2012 г.

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ"
КАТЕДРА „РЕМОНТ, НАДЕЖДНОСТ И ХИМИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ"

маг. инж. Георги Пенчев Кадикянов

ПОВИШАВАНЕ ТРАЙНОСТТА НА ДЕТАЙЛИ ОТ АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ ОТ ЗЕМЕДЕЛСКАТА И ТРАНСПОРТНАТА ТЕХНИКА

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация
за присъждане на образователна и научна степен
“ДОКТОР”

научна специалност
„Механизация и електрификация на растениевъдството”

Научни ръководители:
доц. д-р инж. Васил Антонов Стоянов
проф. д-р инж. Емил Маринов Иванов

Рецензенти:
проф. д.т.н. инж. Георги Тасев
доц. д-р инж. Иван Митев

Русе, 2012 г.

Дисертационният труд съдържа 134 страници. Включва 72 фигури, 10 таблици в 5 глави, общи изводи и приноси. Библиографията обхваща 125 заглавия, 37 от които на кирилица и 88 на латиница. В автореферата всички означения, номерацията на фигурите, таблиците и формулите са според означенията в дисертацията.

Дисертационният труд е обсъден от обединено научно звено, сформирано от членовете на катедра „Ремонт, надеждност и химични технологии" към РУ „Ангел Кънчев" и външни хабилитирани специалисти, и насочен за защита пред научно жури.

Изследванията и разработките по дисертационната работа са извършени в Русенски Университет „Ангел Кънчев"

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2012г. от ч. в зала на Русенски университет „Ангел Кънчев" на заседание на Научно жури по научна специалност „Механизация и електрификация на растениевъдството", сформирано със заповед на Ректора на Русенски университет.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на катедра Ремонт, надеждност и химични технологии.

Автор: маг. инж. Георги Пенчев Кадикянов

Заглавие: Повишаване трайността на детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника.

Тираж: 20 бр.

Печатна база на Русенски Университет „Ангел Кънчев".

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Едно от основните направления свързано с икономията на резервни части, материали, суровини, енергия, интелектуален труд и опазване на околната среда е възстановяването работоспособността на износените детайли на машините и съоръженията от земеделската и транспортната техника. Разходите за поддържане на машините за възстановяване на детайли са от 5 до 10 пъти по-малки от тези за производство на нови резервни части, за материали - от 20 до 100 пъти, а за енергия - от 10 до 20 пъти.

Това налага внедряването на иновативни технологии, осигуряващи необходимите надеждностни показатели на ремонтираната техника и по-пълно оползотворяване на вложения в нея труд.

За повишаването на ефективността от прилагането на тези технологии са необходими задълбочени изследвания с последващо развитие и внедряване на нови подходи и решения за повишаване трайността на възстановените детайли от земеделската и транспортната техника.

Едни от най-натоварените детайли са тези от алуминиеви сплави и за това те често са и ресурсоопределящи за възлите и машините. Повишаването трайността и удължаване на жизнения цикъл на изделието може да се постигне чрез намаляване на интензивността на износването, намаляване на топлинното натоварване на ресурсоопределящите детайли от алуминиеви сплави и др. Един от ефективните варианти за постигане на тази цел е нанасянето на анодно или химично конверсионно покритие и комбинация от двете покрития върху работните повърхнини на тези детайли.

Цел и задачи на изследването

Въз основа на проучването на априорната информация и извършения анализ за състоянието на проблемите свързани с поддържането на земеделската и транспортната техника и произтичащите от тях въпроси за прилагане на съвременни технологии, осигуряващи необходим ресурс на детайлите от алуминиеви сплави е формулирана целта и произтичащите от нея задачи на дисертационния труд.

Целта на дисертационния труд е повишаване на трайността на нови и възстановени детайли от алуминиеви сплави в условията на производство и поддържане на земеделска и транспортна техника.

За реализиране на поставената цел е необходимо решаването на следните **задачи**:

1. Изследване и оптимизиране влиянието на основните управляеми фактори върху технико-икономическите параметри на електрохимично (анодно) конверсионно покритие, нанесено върху работните повърхнини на детайли от алуминиеви сплави.

2. Изследване влиянието на основните управляеми фактори върху технико-икономическите параметри на процеса за получаване на химично конверсионно покритие върху детайли от алуминиеви сплави.

3. Изследване и сравнителен анализ за изменението на температурния градиент на детайли от алуминиеви сплави без и с нанесени покрития от: анодно конверсионно покритие; химично конверсионно покритие; комбинацията от двете покрития.

4. Определяне на някои триботехнически характеристики на анодно покритие, конверсионно покритие и комбинацията от двете покрития върху работните повърхности на детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника.

5. Приложимост на резултатите от изследването и технико – икономически анализ.

Обект на научното изследване са работни повърхнини на детайли от алуминиеви сплави от земеделска и транспортна техника.

Научно - практическа ценност на изследването

В резултат на проведеното изследване на процеса на нанасяне на анодно или химично конверсионно покритие и комбинация от двете покрития върху работните повърхнини на детайли от алуминиеви сплави и техните свойства са доказани следните свойства: намаляване на топлинното натоварване на детайлите; подобряване на антифрикционните свойства на работните повърхнини от съответните двоици; подобряване на микрогеометрията на повърхностите на детайлите от алуминиеви сплави след анодиране и последващо нанасяне на химично конверсионно покритие.

Използваните материали при възстановяването на детайлите от алуминиева сплав и нанасянето на последващо химично конверсионно покритие са с ниска цена, поради което усвояването на процеса в условията на малки ремонтно възстановителни звена и сервизи се оказва високо ефективно. Като се вземе предвид ниската цена и несложното оборудване за нанасяне на химично конверсионно покритие и мобилността на процеса, то ефективността от внедряването на технологичния процес на химичното конверсионно покритие върху възстановените работни повърхности на детайли от алуминиева сплав е целесъобразно и икономически изгодно.

Апробиране на изследването

Резултатите от изследването са докладвани и обсъждани на научни сесии в РУ „Ангел Кънчев”, и други научни форуми у нас и в чужбина.

Реализация на изследването

Резултатите от изследването са внедрени във фирма „Екоинвестинженеринг” ООД – гр. Русе.

Публикации по дисертационния труд

Резултатите от дисертационното изследване са публикувани в 5 статии и доклади в научни сборници и списания.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава I Състояние на проблема. Задачи на изследването

Състоянието на земеделието и индустрията в момента е предпоставка за използването на нови методи и технологии за експлоатация и поддържане на техниката. Страната ни изостава по отношение на научните изследвания, свързани с рационално използване на земеделската и транспортната техника и по-пълно използване на заложения в нея ресурс. Част от ресурсоопределящитие възли са окомплектовани с детайли изработени от алуминиеви сплави и за възстановяване на тяхната работоспособност се налага разработването на иновационни технологии. Те трябва да позволяват удължаване на жизнения цикъл с повишаване трайността на детайлите, възлите и агрегатите. Практиката се нуждае от лесно приложими, евтини, мобилни и екологични методи за удължаване живота на изделията. Използваните иновационни технологии от производителите на нови машини са свързани с автоматизирането и роботизирането на производството, поради което в повечето случаи те са неприложими при ремонтно-възстановителните технологии. За условията на поддържането на техниката се налага усъвършенстване на тези технологии.

Глава II Общи въпроси на методиката на изследването. Теоретичен анализ

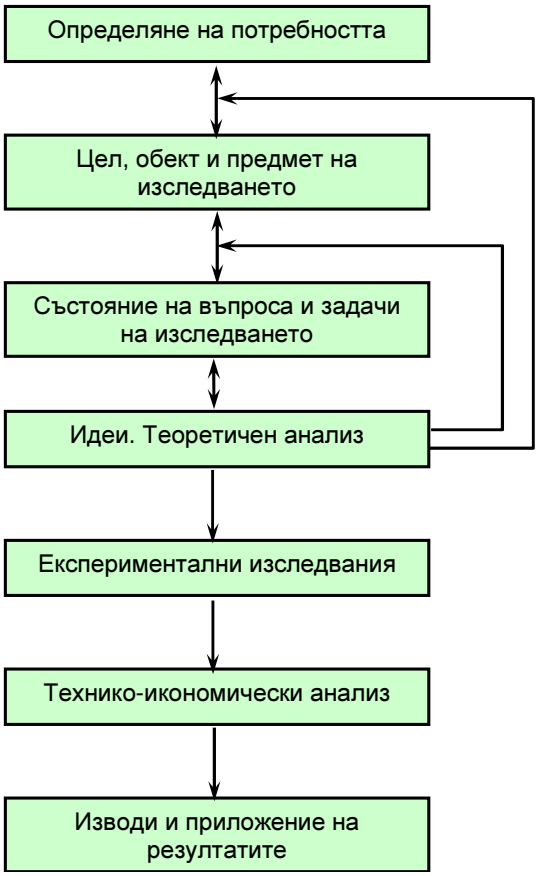
2.1 Структура и елементи на дисертационния труд

Общата методика на дисертационния труд предвижда теоретични и експериментални изследвания за определяне на свойствата на работните повърхнини на детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника, след като са нанесени покрития, както и технико-икономически анализ на получените резултати.

Структурата на общата методика на изследването и взаимовръзката между отделните елементи е изразена с помощта на теорията на графите. Мултиграфът на общата методика нагледно показва последователността и взаимовръзката на отделните елементи (фиг.2.1.)

В началото на мултиграфа са разположени елементите, включващи потребността, целта, обекта и предмета на изследване, състоянието на проблема и задачите на изследването. Въз основа на проучване и анализ на априорната информация и проведените предварителни изследвания, са формулирани задачите на изследването. Изхождайки от поставените задачи са проведени изследвания за определяне на свойствата на работните повърхнини с нанесени анодно, химично конверсионно или комбинация от двете покрития.

Въз основа на получените резултати от експерименталните изследвания е извършен технико-икономически анализ за ефективността от подобряване на свойствата на работните повърхнини на детайли от алуминиеви сплави след нанасяне на анодно, конверсионно или комбинация от двете покрития. Формулирани са основните изводи и са направени предложения за приложение в практиката при поддържането на машините.



Фиг.2.1. Мултиграф на взаимовръзката между основните елементи на общата методика на изследване

2.2. Идеи. Теоретичен анализ

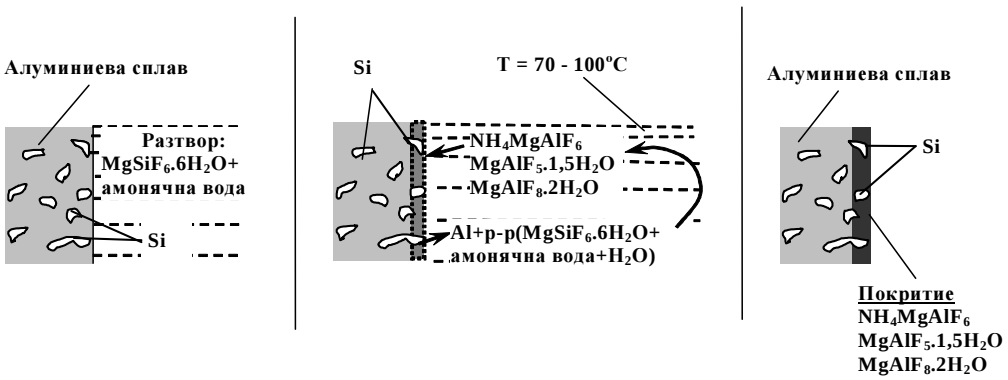
Повишаването на трайността на детайли от алуминиеви сплави в условията на поддържане и ремонт на земеделска и транспортна техника би могло да се осъществи на базата на идеята да се използва комбинация от електрохимично и химично конверсионно покритие.

Електрохимичното (анодно), конверсионно покритие може да формира твърд и еднороден повърхностен слой, върху широка гама от алуминиеви сплави. Притежава висока термоустойчивост, корозионна устойчивост, абразивна устойчивост. Може да се получи при подбран режим върху използваните алуминиеви сплави за машинни детайли от земеделска и транспортна техника.

За да се подобрят антифрикционните, сработващи и противозадирни свойства на анодното покритие, върху него се нанася подходящо химично конверсионно покритие.

Така с комбинацията на двата вида покрития се формират желаните, трибологични и други свойства на работните повърхности.

Химичното конверсионно покритие трябва да е съвместимо с анодното, без да е причина за неговото разрушаване. По тази причина фосфатните конверсионни покрития са неприложими. Положителни резултати могат да се очакват от конверсионните покрития използвани от Японски производители на бутала - Suzuki Motor Corporation (фиг. 2.2.).



Фиг. 2.3. Етапи от повърхностна обработка на детайли, изработени от алуминиеви сплави

Ако алуминиевата сплав не съдържа висок процент силициеви кристали, които осигуряват твърдостта на повърхностния слой, то ефекта от химичното конверсионно покритие намалява значително. За да се преодолее този проблем се налага да се използва анодно покритие като подложка.

Възникват част от въпросите, които трябва да се изяснят с експериментални изследвания:

-Може ли върху анодно покритие да се нанесе конверсионно по споменатата технология и дали не го разрушава?

-Как ще повлияе върху топлинното натоварване на детайлите от алуминиева сплав с последващо нанесено покритие?

-Как ще се отрази върху носещата способност на повърхнините в зависимост от масления слой?

При нанасяне на анодните покрития се влошава микро геометрията на повърхността. Това се дължи на едновременното формиране и разтваряне на оксидния филм.

Наложително е процесът на разтваряне да е с минимална скорост, защото той предизвиква влошаването на микрогеометрията на повърхността. Без да се преодолее този проблем е невъзможно да се реализира идеята за разширяване приложението на двата вида покрития. Затова едно от основните изследвания е:

-Изследване и оптимизиране на режима на анодиране.

Анодното покритие е с висока твърдост и получените остри микро върхове могат да предизвикат повишено абразивно износване при сработване на съвместно работещите с него повърхнини. За да се избегне този недостатък е необходимо да се проучи влиянието на допълнително нанесеното химично конверсионно покритие върху микрогеометрията.

2.3. Методика на експерименталното изследване

Експерименталното изследване се състои от две основни части:

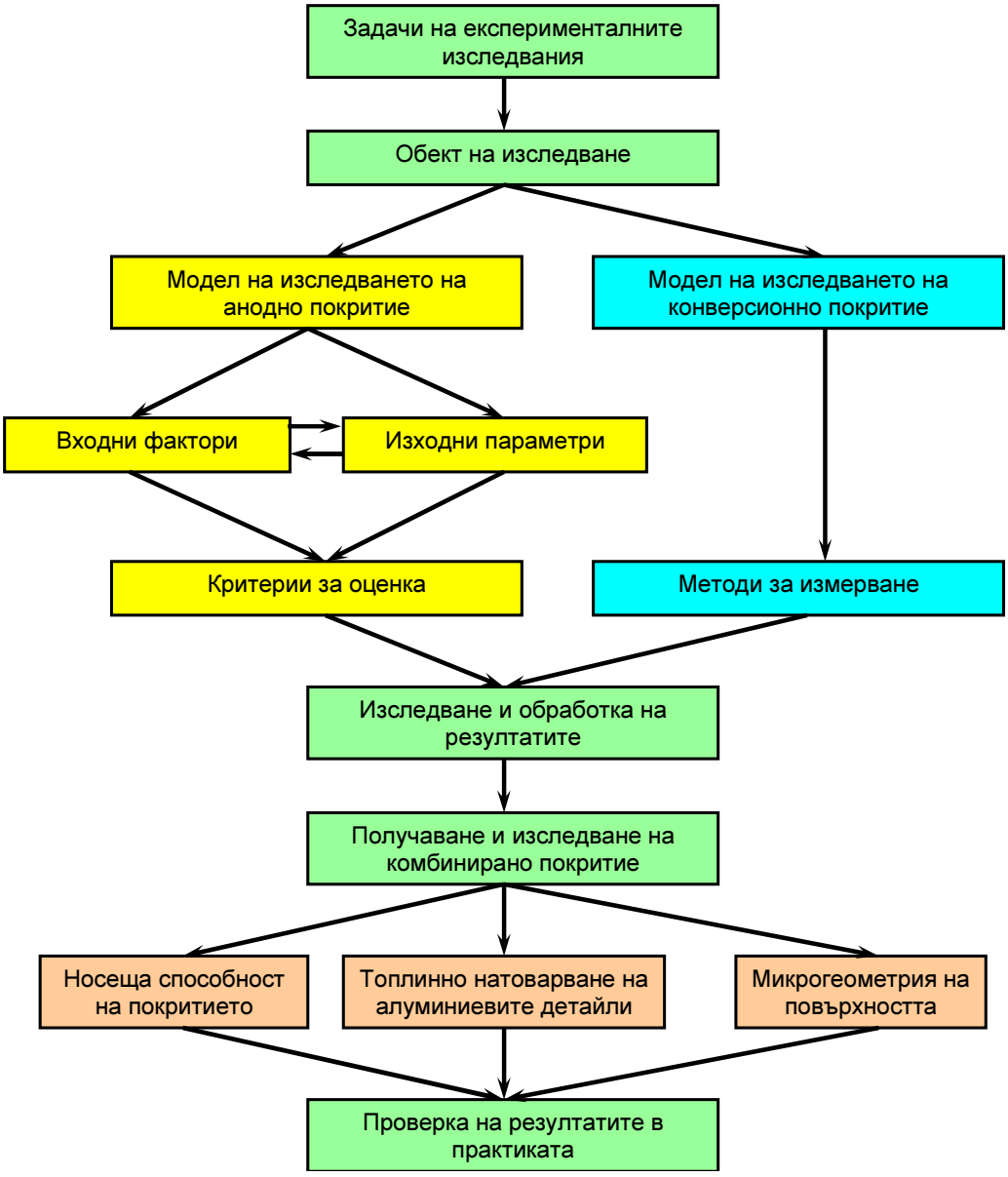
- изследване на факторите, влияещи на процесите на получаване на анодно, конверсионно или комбинация от двете покрития;

- изследване на свойствата на получените анодно, конверсионно или комбинация от двете покрития.

Структурата и елементите на методиката, както и реда на експерименталните изследвания са показани с помощта на мултиграф на фиг. 2.4.

Структурата на методиката е разработена съобразно формулираната цел и задачи на изследването.

След избора на модела на обекта на изследването се предлагат и определят критериите за оценка на обекта, входните и изходните параметри за изследването му.



Фиг. 2.4. Мултиграф на методиката и реда на експерименталните изследвания

Експерименталното изследване се провежда върху образци, които моделират условията на работа на реални двоици: бутало – цилиндър; вал – плъзгащ лагер.

В зависимост от характера на изследваните входни фактори и на изходните параметри на обекта на изследване се избират необходимата апаратура, методиката за измерване на параметрите, реда за провеждане на опитите и броя на наблюденията.

Методиката на експерименталното изследване завършва с приложение на резултатите върху реални детайли от земеделската и транспортната техника.

Глава III Изследване процесите за получаване на покрития върху работни повърхнини на детайли от алуминиеви сплави

3.1. Изследване получаването на химично конверсионно покритие върху подложка от анодно покритие

Една от основните задачи от експерименталните изследвания е да се провери дали идеята за нанасяне на химично конверсионно покритие върху анодирана алуминиева повърхност е осъществима. Използваната технология на Suzuki Motor Corporation се прилага върху подложка от надевтектична алуминиева сплав. В нашия случай е използвана подложка от надевтектична алуминиева сплав с допълнително нанесен слой от диалуминиев триоксид $Al_2 O_3$.

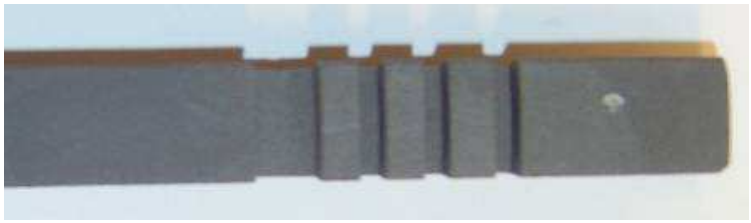
Нанасянето на химични корозионно устойчиви и противозадирни конверсионни покрития върху термоустойчивата подложка може да предизвика, както благоприятни така и нежелани промени в свойствата на последната. Не е изключено да бъде разрушено анодното покритие, както се получава при нанасяне на фосфатни конверсионни покрития.

На фиг. 3.2. е показано пробно тяло след нанасяне на анодно покритие с дебелина 80±5 μm.



Фиг. 3.2. Пробно тяло след нанасяне на анодно покритие

Върху пробните тела с анодно покритие е нанесено допълнително химично конверсионно покритие по технология описана в патенти. Покритието е получено по химичен път в предварително загрят до 90°C воден разтвор на хидрат на магнезиев силикофлуорид ($MgSiF_6.6H_2O$) и амониев хлорид (NH_4Cl). Концентрацията на хидрата на магнезиев силикофлуорид $MgSiF_6.6H_2O$ е 6,7 g/l, а на амониев хлорид NH_4Cl – 2,6 g/l. Продължителността на химичната обработка е 5 min. На фиг. 3.3. е показано пробно тяло след нанасяне на комбинацията от двете покрития.



Фиг. 3.3. Пробно тяло след нанасяне на комбинацията от анодно и химично конверсионно покритие

В резултат на химичната обработка се очаква част от анодното покритие да се превърне в конверсионен филм, съдържащ смес от NH_4MgAlF_6 и $MgAlF_5.1.5H_2O$ или смес от NH_4MgAlF_6 и $MgAl_2F_8.2H_2O$.

За целта са извършени рентгенови изследвания за определяне състава на полученото покритие съвместно с Българската академия на науките. Резултатите показват, че в нанесеното покритие има наличие на $MgNH_2SiF_6$, което е един от

факторите, водещ до подобряване на антифрикционните свойства на работните повърхнини при двоиците алуминиева сплав и желязовъглеродна сплав.

За да се докаже възможността за нанасяне на конверсионно покритие върху анодното е извършен допълнителен рентгенов анализ на пробните тела, които са обработени в разтвор от хидрат на магнезиев силикофлуорид ($MgSiF_6.6H_2O$) и амониев хлорид (NH_4Cl). Изследването е извършено с рентгенов апарат в лаборатория на катедра „Материалознание и технология на материалите" към Русенски университет. Резултатите от изследването са показани на фиг. 3.7. и доказват наличието на покритие, което се състои от NH_4MgAlF_6 и $MgAlF_5.1.5H_2O$ или NH_4MgAlF_6 и $MgAl_2F_8.2H_2O$. Този състав е характерен за химичното конверсионно покритие.

Така с приложената химична обработка част от анодното покритие от диалуминиев триоксид Al_2O_3 се модифицира в покритие от NH_4MgAlF_6 и $MgAlF_5.1.5H_2O$ или NH_4MgAlF_6 и $MgAl_2F_8.2H_2O$.

Получените резултати потвърждават идеята и очакванията за получаване на химично конверсионно покритие върху анодно покритие от диалуминиев триоксид Al_2O_3. Те са предпоставка за извършване на следващите изследвания свързани с оптимизиране на процесите за получаване на покритията.

Оксидирана алуминиева сплав

2 theta	d експ.	d теор.	фаза
13,60	8,1809	8,04	Al2O3
22,90	4,8795	4,75	Al2O3
26,60	4,2106	4,24	Al2O3
36,05	3,1363	3,14	Si
37,30	3,0291	2,987	Al2O3
49,00	2,3358	2,3379	Al
57,30	2,0203	2,0247	Al
60,85	1,9125	1,92	Si
72,85	1,6312	1,64	Si
85,30	1,4297	1,4316	Al
102,50	1,242	1,25	Si
105.10	1,2201	1,2209	Al
112,15	1,1673	1,1689	Al

Покритие върху оксидираната алуминиева сплав

2 theta	d експ.	d теор.	фаза
13,20	8,4276	8,04	Al2O3
19,60	5,6909	5.77; 5,64; 5,70	NH4MgAlF6; MgAlF5-1,5H2O; MgAl2F8-2H2O
22,90	4,8795	4,75; 4,89; 4,93	Al2O3;MgAlF5-1,5H2O; ~MgAl2F8-2H2O
36,1	3,1262	3,14	Si
38,00	2,9753	3,012; 2,997; 3,00; 2,987	NH4MgAlF6; MgAlF5-1,5H2O; MgAl2F8-2H2O; Al2O3
39,80	2,8458	2,886; 2,833; 2,84	~NH4MgAlF6; MgAlF5-1,5H2O; MgAl2F8-2H2O
49,05	2,3331	2,3379	Al; MgAl2F8-2H2O;
57,25	2,0216	2,0247; 2,04; 2,038; 2,05	Al; NH4MgAlF6; MgAlF5-1,5H2O; MgAl2F8-2H2O
60,75	1,9153	1,92; 1,923; 1,89; 1,90	Si; NH4MgAlF6; MgAlF5-1,5H2O; MgAl2F8-2H2O
67,50	1,7435	1,76; 1,77	~MgAl2F8-2H2O; ~MgAlF5-1,5H2O
72,75	1,6331	1,64	Si
85,40	1,4284	1,4316	Al
102,50	1,242	1,25	Si
105.05	1,2205	1,2209	Al
112,20	1,1673	1,1689	Al

Фиг. 3.7. Състав на покритието, получен от лаборатория на Русенски университет

3.2. Изследване и оптимизиране на процеса за получаване на анодно покритие

3.2.1. Технологична екипировка и анализ на основните фактори, влияещи върху изходните параметри на анодното покритие

Повишаването на грапавостта при анодиране ограничава приложението на метода. Това налага изследване влиянието на основните фактори и ефектите им на взаимодействие върху изходните параметри с цел определяне възможността за

целенасочено управление на процеса. Наложително е анализиране на технологичния процес за получаване на анодно покритие с цел търсене на възможности за решаване на този проблем.

Уредбата за ускорено анодиране е показана на фиг. 3.13. Тя включва следните елементи: токоизправител, вана, хладилен агрегат, центробежна помпа и филтър.

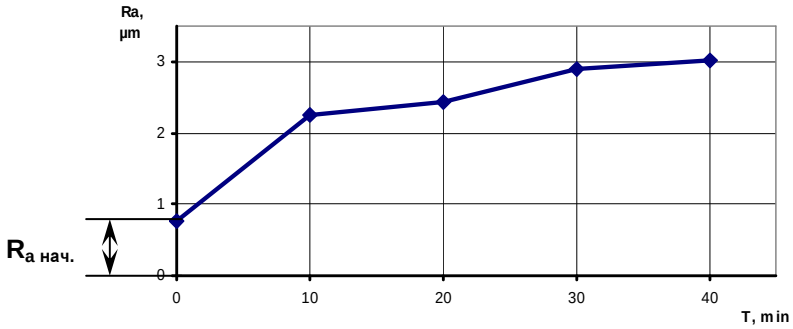


Фиг. 3.13. Уредба за анодиране

3.2.2. Изследване влиянието на основните фактори върху изходните параметри на анодното покритие

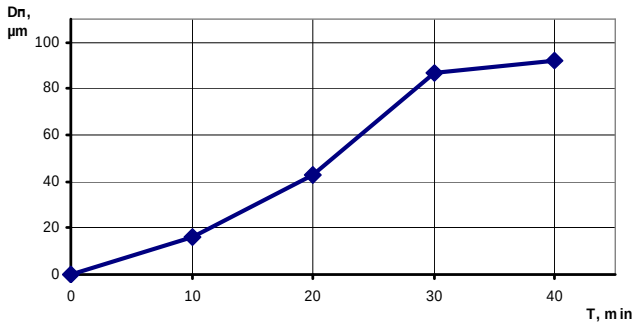
За определяне на основните нива и нивата на вариране на управляемите фактори при оптимизиране на процеса е необходимо да се познават функционалните зависимости между входните и изходни параметри. За целта са проведени опити за установяване на тези зависимости относно получаването на анодно покритие с минимална грапавост и подходяща дебелина на покритието съобразно специфичните условия на работа за съответната повърхност.

Големината на грапавостта и дебелината на анодното покритие в зависимост от времето за получаване на покритието са показани на фиг. 3.17. и фиг. 3.18. От фигурите се вижда, че с увеличаване на времето за получаване на покритието и грапавостта и дебелината на покритието нарастват. Това е свързано със същността на процеса за получаване на анодното покритие. Вижда се също, че в края на графиките грапавостта и дебелината на покритието почти не се изменят, което вероятно се дължи на намалената интензивност на протичане на процеса.



Фиг. 3.17. Изменение на грапавостта на покритието във функция от времето за напластяване

$y = -0.0018x^2 + 0.1221x + 0.8911$

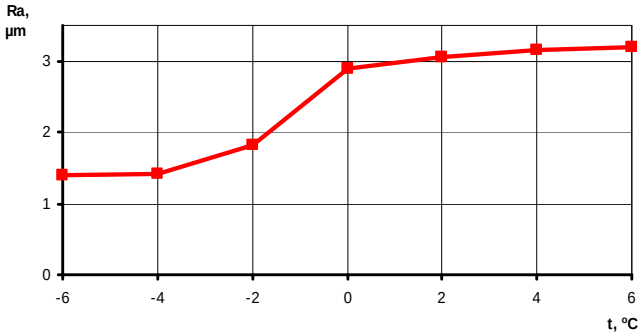


Фиг. 3.18. Изменение на дебелината на покритието във функция от времето за напластяване

$y = -0.0042x^3 + 0.2464x^2 - 0.8905x + 0.8857$

От приведената крива на фиг. 3.18. се вижда, че интензивността на нарастване дебелината на покритието се увеличава при условие, че продължителността на процеса е до 30 min. Така например при продължителност на отлагане на покритието от 10 min интензивността е 1,8 μm/min а при 30 min същата е 2,9 μm/min. След тридесетата минута интензивността рязко намалява до 2,4 μm/min.

С повишаване на температурата на електролита грапавостта на анодното покритие нараства фиг. 3.20. Това се дължи на невъзможността на пресния електролит да охлади повърхността на получаване на покритието до нива за нормалното протичане на процеса.

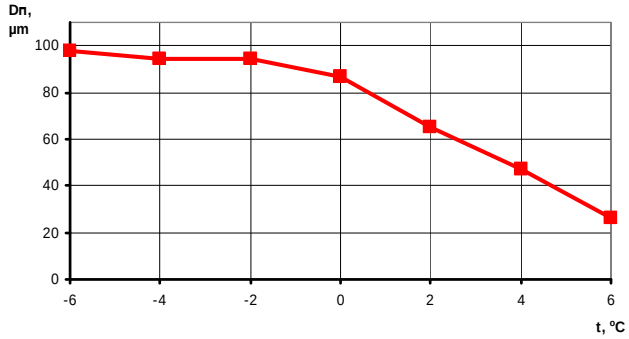


Фиг. 3.20. Изменение на грапавостта на покритието във функция от температурата на електролита в прианодния електролитен слой

$y = -0.0041x^3 - 0.0096x^2 + 0.2947x + 2.569$

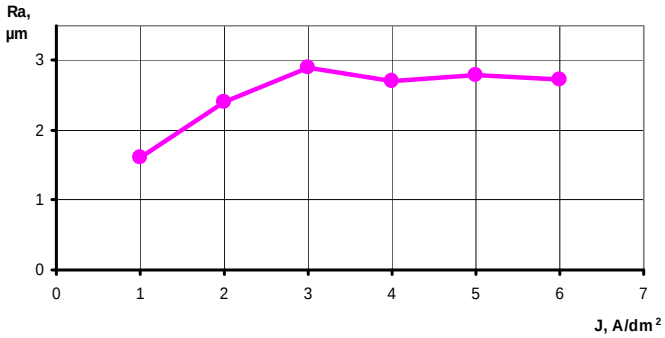
От резултатите, показани на фиг. 3. 21. се вижда, че при постоянни продължителност на процеса и плътност на тока, дебелината на покритието с изменение на температурата от 0 до 6 °C намалява интензивно, като при температура на електролита в прианодния слой 6 °C нарастването на дебелината е 0,83 μm/min, а при температура 0 °C същата е 2,9 μm/min. Следователно интензивността на нарастване на покритието с изменение на температурата на електролита в прианодния слой с 1 °C е 0,35 μm. При температура от 0 до -6 °C интензивността на нарастване на дебелината рязко намалява. Така например при температура -6 °C тя е 3,27 μm/min, т.е. интензивността на нарастване на покритието при изменение на температурата с 1 °C е едва 0,07 μm. От така приведените резултати се вижда, че интензивността на нарастване на покритието

при температура на електролита в прианодния слой от 0 до -6 ^{o}C се намалява пет пъти.

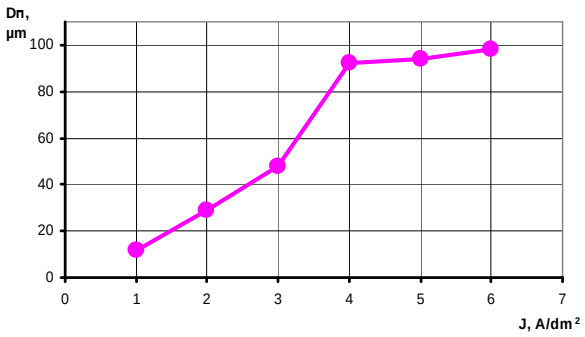


Фиг. 3.21. Изменение на дебелината на покритието във функция от температурата на електролита в прианодния електролитен слой
$y = -0.6101x^2 - 6.0536x + 82.762$

На фиг. 3.22. е показано изменението на грапавостта на анодното покритие в зависимост от плътността на тока. От фигурата се вижда, че първоначално с повишаване на плътността и грапавостта нараства, след това остава почти постоянна.



Фиг. 3.22. Изменение на грапавостта на покритието в зависимост от плътността на тока, при продължителност на процеса за напластяване 30 min
$y = 0.0331x^3 - 0.4533x^2 + 1.9822x + 0.03$



Фиг. 3.23. Изменение на дебелината на покритието в зависимост от плътността на тока, при продължителност на процеса за напластяване 30 min
$y = -1.8611x^3 + 17.167x^2 - 23.258x + 20$

Интензивността на отлагане на покритието се намира във функционална връзка с плътността на тока. От получените резултати показани на фиг. 3. 23. се вижда, че при постоянни температура в прианодния слой и продължителност на процеса дебелината на покритието с изменение на плътността на тока до 4 A/dm^2 нараства интензивно, като при плътност на тока 1 A/dm^2 нарастването на дебелината е 0,33 μm/min, а при плътност на тока 4 A/dm^2 същата е 3 μm/min. Следователно интензивността на нарастване на покритието с изменение на плътността на тока с 1 A/dm^2 е 0,89 μm. След плътност на тока 4 A/dm^2 интензивността на нарастване на дебелината рязко намалява. Така например при плътност на тока 6 A/dm^2 тя е 3,33 μm/min, т.е. интензивността на нарастване на покритието при изменение на плътността с 1 A/dm^2 е едва 0,17 μm. От така приведените резултати се вижда, че интензивността на нарастване на покритието след плътност на тока 4 A/dm^2 се намалява около пет пъти.

Получените резултати за влиянието на основните фактори върху изходните параметри на покритието и извършения по-горе анализ са използвани като база за определяне основното ниво и интервалите на вариране за многофакторното планиране на експеримента.

3.2.3. Изследване на процеса за получаване на анодно покритие с използване на методите за оптимизиране на изходните параметри на многофакторни обекти

Подборът на основните нива и нивата на вариране на управляемите фактори е реализиран въз основа на получените резултати от еднофакторните експерименти. Съображенията при избора на фактора Т, време за определяне на долното и горното ниво се базират на факта, че при продължителност за нанасяне на покритието от 10 min интензивността на нарастване на дебелината е 1,8 μm/min. При по-малка продължителност производителността на процеса рязко намалява което е икономически неизгодно. При продължителност на процеса от 30 min интензивността на нарастване на покритието е 2,9 μm/min. След трийсетата минута грапавостта на покритието не се изменя съществено, но интензивността на отлагане на покритието намалява до 2,4 μm/min. Това ни дава основание да приемем и за горно ниво продължителността на процеса да е от 30 min.

Въз основа на подобен анализ на резултатите показани на фиг. 3.19. до 3.22. са подбрани и интервалите на вариране за температурата на електролита и плътността на тока.

В табл. 3.1. са показани нивата на вариране и основните нива на входните фактори.

Таблица 3.1.

Стойности на основното ниво и нивата на вариране на факторите

N	Фактори	Променливи величини		
		t,	T,	J,
1	Размерност	min	^{o}C	A/dm^2
2	Основно ниво ($\mathbf{X_i} = 0$)	20	0	4
3	Интервал на вариране	10	4	2
4	Горно ниво ($\mathbf{X_i} = +1$)	30	4	6
5	Долно ниво ($\mathbf{X_i} = -1$)	10	-4	2
6	Код	$\mathbf{X_1}$	$\mathbf{X_2}$	$\mathbf{X_3}$

Въз основа на получените резултати в предходния раздел е установено, че като основни параметри, характеризиращи основните свойства на анодното покритие са неговата дебелина и грапавостта на работната повърхнина. За Y_1 е подбрана грапавостта на покритието Ra, μm, а за Y_2 – Дебелината на покритието Dn, μm.

Както беше отбелязано по-горе за подобряване условията на работа на детайлите от алуминиеви сплави е необходимо постигане на минимална грапавост при определена дебелина на покритието. Съществен проблем в случая се явява факта, че с повишаване дебелината на покритието се увеличава и неговата грапавост. Това налага при многофакторното планиране на експеримента с последващо оптимизиране на изходните параметри да се вземе компромисно решение. Ето защо в зависимост от условията на работа на двоиците алуминиеви – желязовъглеродни сплави е необходимо да се подхожда диференцирано по отношение избора дебелината на покритието.

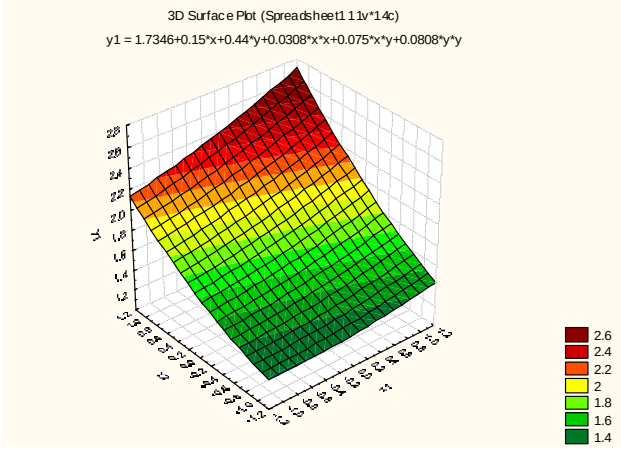
Планът на многофакторния експеримент е от типа "B_m", при m=3. Планът на експеримента се състои от ядро на плана, което представлява пълен факторен експеримент (ПФЕ) от вида 2^3. При този тип многфакторен експеримент уравнението на регресия има вида:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + +b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + +b_{33}X_3^2, \quad (3.1)$$

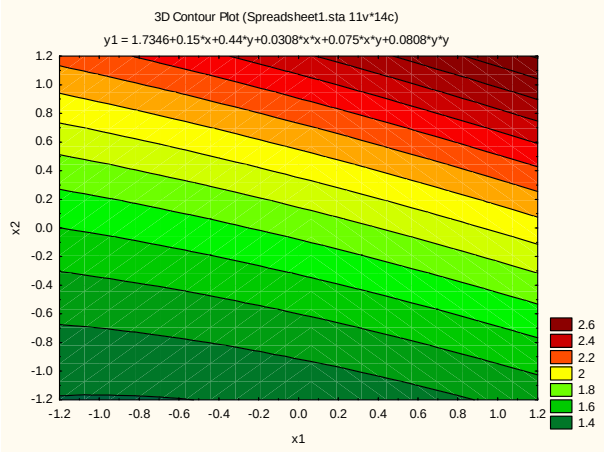
където b_i са коефициентите на регресия.

Таблица 3.3.
Коефициенти на регресия, коефициент на детерминираност и критерий на Фишер за параметъра Y_1

N=14	Regression Summary for Dependent Variable: y1 (Spreadsheet1.sta) R= .98599731 R?= .97219069 Adjusted R?= .90961975 F(9,4)=15.537 p<.00897 Std.Error of estimate: .13229					
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(4)	p-level
Intercept			1.787500	0.084317	21.19973	0.000029
x1	0.298977	0.083381	0.150000	0.041833	3.58569	0.023050
x2	0.876998	0.083381	0.440000	0.041833	10.51801	0.000462
x3	0.259113	0.083381	0.130000	0.041833	3.10759	0.035956
x12	0.133706	0.083381	0.075000	0.046771	1.60357	0.184074
x13	0.000000	0.083381	0.000000	0.046771	0.00000	1.000000
x23	0.000000	0.083381	0.000000	0.046771	0.00000	1.000000
x11	0.066587	0.089831	0.062500	0.084317	0.74125	0.499700
x22	0.119857	0.089831	0.112500	0.084317	1.33425	0.253015
x33	-0.146492	0.089831	-0.137500	0.084317	-1.63075	0.178278



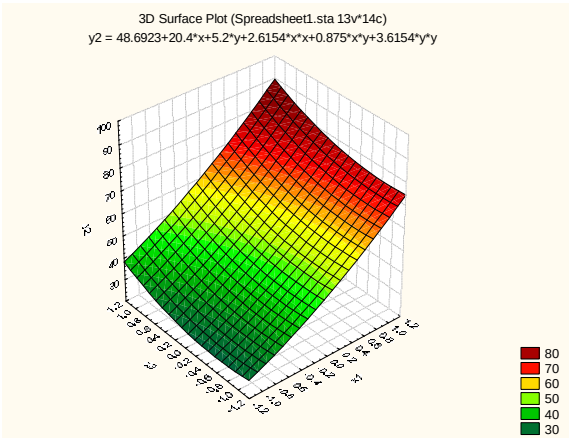
Фиг. 3.25. Повърхнина на отклика на Y_1 в координатна система X_10X_2 ($X_3 = 0$)



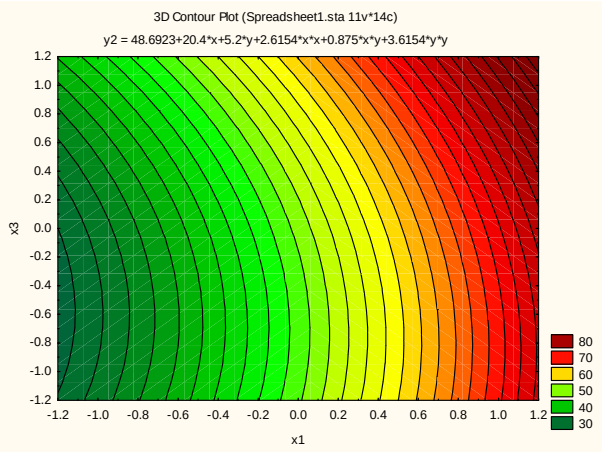
Фиг. 3.26. Линии на еднакъв отклик на Y_1 в координатна система X_10X_2

Таблица 3.4.
Коефициенти на регресия, коефициент на детерминираност и критерий на Фишер за параметъра Y_2

N=14	Regression Summary for Dependent Variable: y2 (Spreadsheet1.sta) R= .98833801 R?= .97681203 Adjusted R?= .92463909 F(9,4)=18.723 p<.00630 Std.Error of estimate: 5.2583					
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(4)	p-level
Intercept			47.56250	3.351539	14.19124	0.000143
x1	0.934080	0.076138	20.40000	1.662829	12.26825	0.000254
x2	-0.100734	0.076138	-2.20000	1.662829	-1.32305	0.256383
x3	0.238099	0.076138	5.20000	1.662829	3.12720	0.035280
x12	0.005119	0.076138	0.12500	1.859099	0.06724	0.949620
x13	0.035835	0.076138	0.87500	1.859099	0.47066	0.662403
x23	0.127982	0.076138	3.12500	1.859099	1.68092	0.168073
x11	0.047420	0.082028	1.93750	3.351539	0.57809	0.594186
x22	0.071895	0.082028	2.93750	3.351539	0.87646	0.430261
x33	0.071895	0.082028	2.93750	3.351539	0.87646	0.430261



Фиг. 3.27. Повърхнина на отклика на Y_2 в координатна система X_10X_3



Фиг. 3.28. Линии на еднакъв отклик на Y_2 в координатна система $X_1 0 X_3$

От анализа на априорната информация следва, че дебелината на анодното покритие – Y_2 е фактора с по-голямо значение. Ако се разгледат експлоатационните свойства на анодното покритие и по-точно, за кои работни повърхности е предназначено, изискванията към него ще са в някои случаи за максимална дебелина, а в други за минимална. Например, ако то се използва като покритие върху челото на буталата, дебелината му трябва да е максимална, за да се постигне по-добра топлинна изолация. Ако анодното покритие бъде използвано върху повърхността, например на каналите за буталните пръстени, тогава дебелината му трябва да е минимална, за да не попречи на топлинния пренос от буталото към буталните пръстени, а само да служи като износоустойчиво покритие.

Що се отнася до изходния параметър Y_1 (грапавост на покритието) е необходимо стойностите му да клонят към минимум, независимо от това за кои работни повърхности е използвано покритието. Например, когато то се използва за покриване на челото на буталата за намаляване на нагарообразуването и появата на прегрети микрограпавини, които са центрове на самовъзпламеняване, грапавостта трябва да е минимална. Когато покритието се използва за повърхността на каналите за буталните пръстени, грапавостта също трябва да е минимална, за да се увеличи противозадирната устойчивост.

С оглед на гореказаното е необходимо да се извърши компромисна оптимизация на изходните параметри Y_1 и Y_2. От зоните на еднакъв отклик за Y_2 на фиг. 3.28. са подбрани ограничителни условия за значимите за Y_2 - X_1 и X_3.

За първия случай, когато се търси минимална грапавост при минимална дебелина на покритието, те са $X_1 < -0,8$; $X_1 > -1$ и $X_3 < 0,2$; $X_3 > -1$.

След извършване на оптимизация се вижда, че минималната грапавост в този случай е R_a=1,172 μm, която се получава при: $X_1 = -0,8$; $X_2 = -1$ и $X_3 = -1$.

Оптимални натурални стойности на входните фактори спрямо Y_1 при налагане на ограничителните условия са:

X_1 (T) = 12 min; X_2 (t) = -4 ^oC; X_3 (J) = 2 A/dm^2.

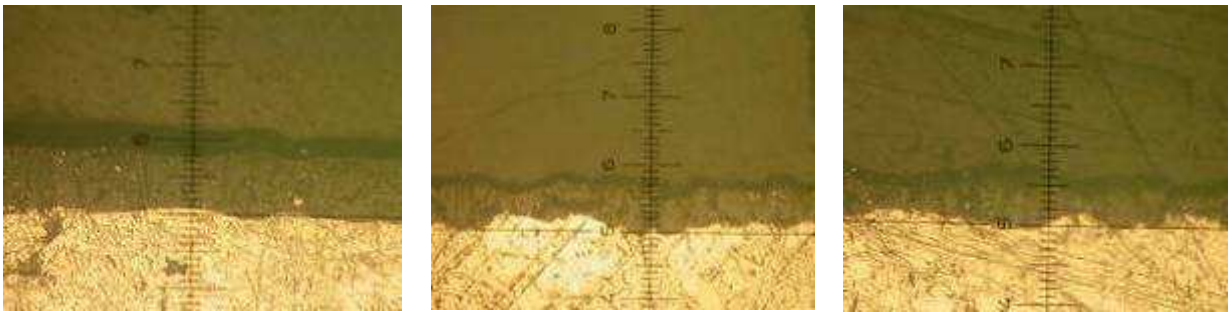
От зоните на еднакъв отклик за Y_2 от фиг. 3.28. са подбрани ограничителни условия за значимите за Y_2 - X_1 и X_3 при втория случай, когато се търси минимална грапавост при максимална дебелина на покритието. Те са $X_1 < 1$; $X_1 > 0,8$ и $X_3 < 1$; $X_3 > 0,6$.

Минималната грапавост е R_a=1,552 μm, която се получава при: $X_1 = 0,8$; $X_2 = -1$ и $X_3 = 1$.

Оптимални натурални стойности на входните фактори спрямо Y_1 при налагане на ограничителните условия са:

X_1 (T) = 28 min;
X_2 (t) = -4 ^oC;
X_3 (J) = 6 A/dm^2.

Въз основа на получените резултати относно оптимизирането на изходните параметри и по искане на ръководството на завод “ДРУЖБА” АД гр. Разград, свързано със съвместна работа с MSI – KOLBENSCHMIDT за производството на бутала за нов модел автомобил Bentley постъпи запитване дали е възможно постигане на дебелина на анодното покритие 90 ±30μm. В тази връзка бяха проведени допълнителни изследвания при различни режими на анодния процес. Резултатите са представени на фиг. 3.29.



а) б) в)

Фиг. 3.29. Дебелина на анодното покритие

От фигурата се вижда, че резултати най-близки до желаните се получават при режим съответстващ на оптималния за максимална дебелина на покритието (фиг. 3.29. а)). Вижда се, че при оптималния режим, покритието е равномерно разпределено за разлика от другите два режима.

3.3. Изследване влиянието на основните фактори за нанасяне на химично конверсионно покритие

Прилаганият от Suzuki Motor Corporation метод за получаване на химично конверсионно покритие върху детайли от алуминиева сплав е автоматизиран и е предназначен за нанасяне на покрития върху серийно произвеждани бутала от алуминиеви сплави. Несложният състав на химичните разтвори са предпоставка за по-голяма достъпност относно тяхната приложимост и при не автоматизирани процеси при поддържането на техниката или възстановяването на детайлите. Поради липса на съответната априорна информация за приложимост на този процес в условията на фирми с предмет на дейност свързана с производство на резервни части и сервизна дейност без наличната технологична екипировка са необходими допълнителни изследвания. Това налага разработването на съответната екипировка с последващо изследване на процеса при различни условия за получаване на покритие, чийто свойства отговарят на специфичните изисквания на работа за разглежданите двоици.

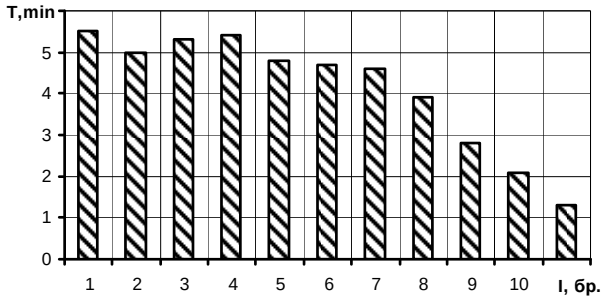
За установяване възможностите за приложимостта на технологията при горе посочените условия за получаване на превантивни и ремонтно-възстановителни покрития изследванията са проведени на два етапа. Първият етап е свързан с приготвянето на химически разтвор, съдържащ магнезиев силикофлуорид ($MgSiF_6.6H_2O$) или специфично амониево съединение (NH_4) или производно на него (NH_4Cl). Разтворът се загрява до температура 70 до 100℃, и в него се поставя детайл изработен от алуминий или алуминиева сплав. Същността на процеса е в

покриването на цялата повърхност със специфичен филм, състоящ се от смес от NH_4MgAlF_6 и $MgAlF_5.1.5H_2O$ или смес от NH_4MgAlF_6 и $MgAl_2F_8.2H_2O$.

За да се изследва стабилността на процеса за получаване на гореспоменатото химично покритие върху детайли от алуминиева сплав е необходимо да се определят критерии за оценка. Продължителността на процеса влияе върху свойствата на покритието. При време за получаване около 5 min свойствата на покритието са оптимални. Това позволява времето за получаване на покритието да се използва като критерий за оценка на стабилността на процеса.

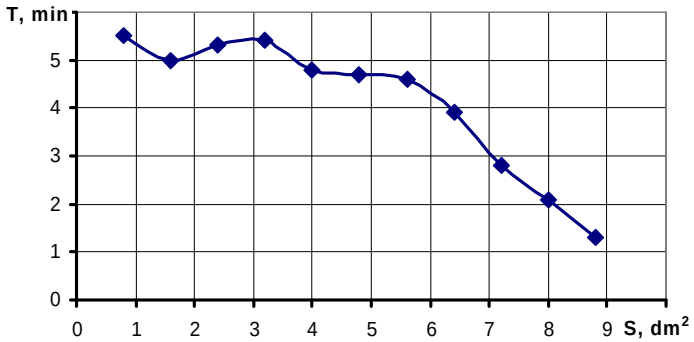
Въз основа на получените резултати са проведени серия от опити като за целта са изработени пробни тела от бутална алуминиева сплав. Площта на пробните тела за всички опити е еднаква – 1,2 dm^2. Преди началото на всеки опит пробните тела са загрети до температурата на химичния разтвор. Количеството на химичния разтвор за всички опити е 1,5 l.

Първата серия от опити са проведени за да се определи капацитета на химичния разтвор. За целта в него са обработени последователно единадесет броя пробни тела. Като критерий за преценка за протичането на процеса за отлагане на химичното конверсионно покритие служи времето за газоотделяне. Установено е, че качествено конверсионно покритие се получава при продължителност на процеса не по-малко от три минути. След тази продължителност се счита, че капацитетът на химическия разтвор е изчерпан и отложеното покритие не отговаря на поставените условия.



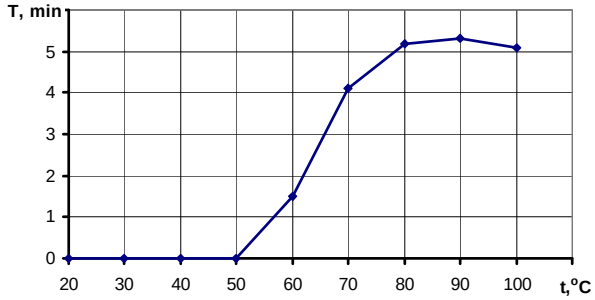
Фиг. 3.31. Време за протичане на процеса в зависимост от поредността на опита

От фиг. 3.31. се вижда, че използването на един и същи химичен разтвор е целесъобразно да се използва до около 7 – 8 пъти. При площ на повърхността на пробното тяло 1,2 dm^2, лесно може да се определи, че 1l химичен разтвор може да бъде използван за детайли с повърхност не по-голяма от 6 – 7 dm^2. На фиг. 3.32. е показано времето за протичане на процеса в зависимост от площта на обработваната повърхнина.



Фиг. 3.32. Време за протичане на процеса в зависимост от площта на обработваната повърхнина

Протичането на процеса на нанасяне на покритието е свързано със загряване на химичния разтвор. Необходимо е да се определи каква трябва да бъде работната температура на разтвора. Проведени са опити резултатите от които са представени на фиг. 3.33.



Фиг. 3.33. Време за протичане на процеса в зависимост от температурата на химичния разтвор

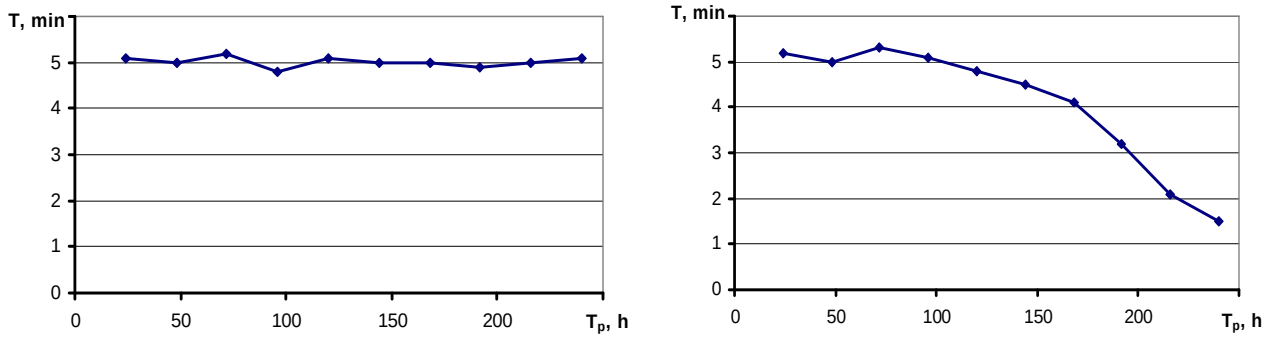
$y = 0.0004x^2 + 0.0345x - 1.499$

От фигурата се вижда, че температурата на химичния разтвор е необходимо да бъде по-висока 70 – 80°C. При по-ниска температура процеса или въобще не протича или не протича с нужната продължителност, с което не се гарантират качествените показатели, изразяващи се в подобряване на неговите антифрикционни свойства.

Процесът протича и при температури на химичния разтвор по-високи от 95°C. При такива температури, близки до температурата на кипене, изпаряването на химичния разтвор е голямо, а и загубата на енергия е висока. Поради тези причини е нецелесъобразно загряването на разтвора над 95°C.

За приготвянето и съхраняването на химичния разтвор има два подхода:

- разтваряне на магнезиевя силикофлуорид ($MgSiF_6.6H_2O$) и амониевя хлорид (NH_4Cl) във вода без да се загрява химичния разтвор предварително;
- разтваряне на магнезиевя силикофлуорид ($MgSiF_6.6H_2O$) и амониевя хлорид (NH_4Cl) във вода като химичния разтвор предварително е загрят до работната температура и така се съхранява.



а б

Фиг. 3.34. Време за протичане на процеса в зависимост от периода от получаването на химичния разтвор до протичане на процеса:
а – незагрят предварително разтвор $y = -0.0003x + 5.0533$; б – разтвор, загрят предварително до 90°C $y = -0.0001x^2 + 0.0158x + 4.7517$

Проведени са опити с двата разтвора всеки ден в продължение на десет дни. Резултатите от опитите са показани на фиг. 3.34. съответно: а – без предварително

загряване на химичния разтвор; б – с предварително загряване на химичния разтвор до работната температура - 90^{o}C.

Получените резултати показват, че времето за протичането на процеса с химичен разтвор, който не е загрят предварително не се променя съществено за всеки опит. От друга страна за разтвора загрят предварително до работната температура и последващи реакции за всеки опит, времето за получаване на покритието след петия ден започва съществено да намалява. Това показва, че не е препоръчително използването на такъв разтвор след петия ден, защото свойствата на полученото покритие не са гарантирани.

Получените резултати от разработената технология за получаване на химично конверсионно покритие позволяват по нататъшното и използване при изследвания за доказване на подобряването на свойствата на работните повърхнини на детайлите от алуминиева сплав.

Глава IV Определяне основните свойства на покритията

4.1. Изследване микрогеометрията на нанесените покрития

Един от основните фактори, оказващ съществено влияние върху интензивността на износването през периода на сработване на двоиците е микрогеометрията на работните повърхнини. Това налага да се определи възможността за целенасочено управление на основните фактори, влияещи върху микрогеометрията с цел намаляване скоростта на износване в процеса на сработването.

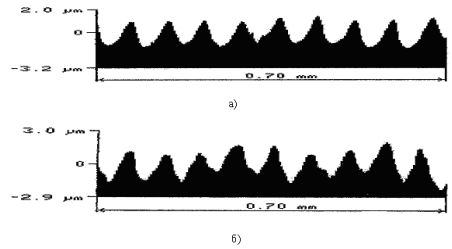
Като съществен недостатък на покритията нанесени върху детайлите от алуминиеви сплави е, че с повишаване на дебелината на покритията се увеличава и изходната им грапавост. Това би довело до удължаване периода на сработване, повишаване на износването и намаляване трайността на съединенията.

От казаното по-горе следва, че е необходимо да се проведат допълнителни изследвания, с цел да се установи профила на покритията при оптимален режим на тяхното нанасяне. Това е необходимо от факта, че при една и съща дебелина на покритието носещата способност на работната повърхнина и дебелината на масления слой се намира във функционална зависимост от характера на профила.

Въз основа на получените резултати в трета глава и разработената технология относно нанасяне на покритията са проведени изследвания за определяне на микрогеометрията на образците преди и след нанасяне на покритието.

На фиг.4.2. са показани записите на профилите на изходната повърхност и след нанасяне на химичното конверсионно покритие. Върховете на микронеравностите след повърхностната обработка са приблизително на едно ниво, и са с по-голям радиус на закръгление в сравнение с тези при изходната повърхност. Така не се намалява контактната площ между триещите двоици, което влияе благоприятно върху износоустойчивостта им.

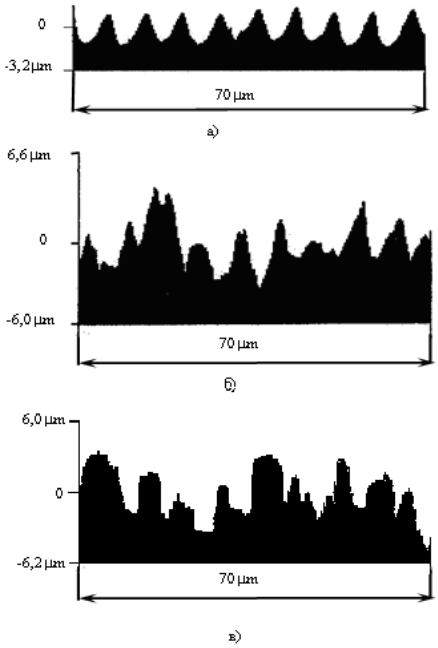
Според априорната информация слоят образуван от съединенията NH_4MgAlF_6, $MgAlF_5.1{,}5H_2O$ и $MgAlF_8.2H_2O$ е с кристална структура. Това увеличава повърхностната площ и подобрява задържането на масло, което намалява износването на триещите двоици.



Фиг. 4.2. Запис на профилите на повърхностите на пробните тела:
а) без покритие – след механична обработка; б) след повърхностна обработка

Поради съществените отклонения на макронеравностите при анодирането от тези след механичната обработка е целесъобразно да се определи как влияе нанасянето на последващо химично конверсионно покритие върху анодното.

На фиг. 4.5. са показани профилите на изходната повърхност, след анодиране и след нанасяне на химично конверсионно покритие върху анодното.



Фиг. 4.5. Профил на повърхностите на пробните тела:
а) изходна повърхност – след механична обработка; б) анодирана повърхност; в) повърхност с нанесено химично конверсионно покритие върху анодното.

От фигурата се вижда, че след нарастване на микрограпавините след анодиране (фиг. 4.5. б), нанесеното химично конверсионно покритие върху анодното (фиг. 4.5. в) заобля част от острите върхове на микрограпавините и запълва някои от тях.

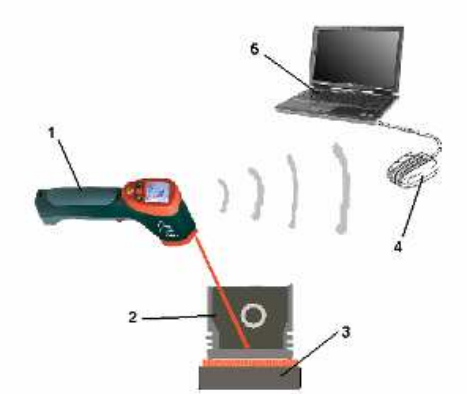
4.2. Изследване влиянието на покритието върху топлинното натоварване на детайли от алуминиеви сплави

Както бе отбелязано в литературния обзор буталата са топлинно най-натоварените детайли от алуминиеви сплави. Това налага да се определи какво е влиянието на различните покрития върху топлопроводимостта респективно върху топлинното натоварване. Като критерий за определяне топлинното натоварване на

детайлите избираме изменението на температурния градиент между челото и дъното на буталото.

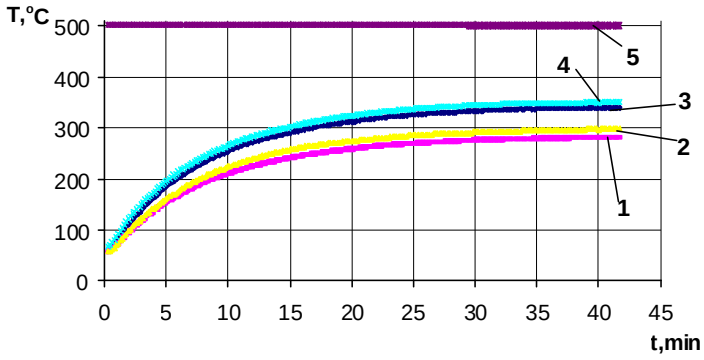
На фиг. 4.6. е показана опитната уредба за измерване на температурата на повърхността на дъното на буталото.

Изменението на температурата във функция от времето е контролирана за бутала: 1) бутала без покритие върху челото; 2) нанесено химично конверсионно покритие; 3) бутала с термоустойчиво анодно покритие върху челото; 4) бутала с термоустойчиво анодно покритие и допълнително нанесено химично конверсионно покритие.



Фиг. 4.6. Опитна уредба за измерване на температурата на повърхността на дъното на буталото:
1 – инфрачервен термометър; 2 – бутало; 3 - електрически нагревател; 4 - USB устройство за приемане на данни; 5 - преносим компютър с приложен софтуер към инфрачервения термометър.

Резултатите са показани на фиг. 4.7. От фигурата се вижда, че температурата, измерена на повърхността на дъното на буталата, се повишава най-бързо и достига най-високи стойности при буталата без покритие (4) – 347°C. За буталата с термоустойчиво анодно покритие върху челото (1) максималната измерена температура на повърхността на дъното на буталата е 281°C (най-ниската за трите вида повърхностни обработки).



Фиг. 4.7. Изменение на температурата измерена на повърхността на дъното на буталото в зависимост от времето:
1 – бутала с термоустойчиво анодно покритие върху челото на буталото; 2 – бутала с термоустойчиво анодно покритие върху челото и нанесено химично покритие върху цялото бутало (включително и върху термоустойчивото); 3 – бутала с нанесено химично покритие; 4 - бутала без покритие; 5 – температура на източника на топлина.

При буталата с термоустойчиво анодно покритие върху челото и нанесено химично конверсионно покритие върху цялото бутало (включително и върху термоустойчивото) (2) изменението на температурата във времето е подобно на изменението при буталата с термоустойчиво анодно покритие.

С помощта на формула (4.1) е определен температурния градиент по дебелина на челата на буталата в края на всеки опит.

$$\Delta t = \frac{t_2 - t_1}{l}, \qquad (4.1)$$

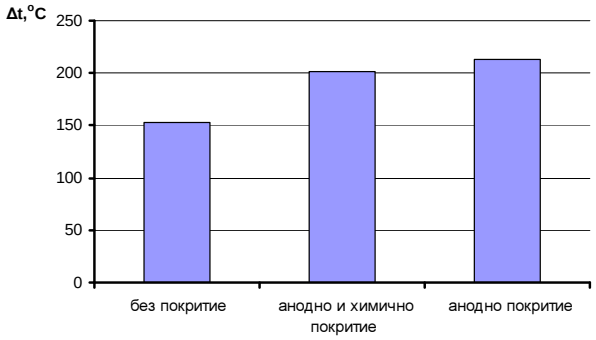
където Δt е температурният градиент по дебелина на челото на буталото - l, между нагряваната повърхнина (челото на буталото) и повърхността на дъното на буталото;

t_2 – температурата на нагряваната повърхнина (челото на буталото);

t_1 – температурата на повърхността на дъното на буталото.

Тъй като дебелината на челата на изследваните бутала е еднаква температурният градиент може да се разглежда и като температурна разлика между нагряваната повърхност (челото) и дъното на буталото.

Резултатите за различните видове повърхностни обработки са показани на фиг. 4.8.



Фиг. 4.8. Температурен градиент по дебелина на челата на буталата

От фиг. 4.8. се вижда, че температурният градиент за бутала с термоустойчиво анодно покритие върху челото е с около 60°C по-висок от буталата без покритие. Разликите в температурния градиент се дължат на по-ниския коефициент на топлопредаване на Al_2O_3 в сравнение с алуминиевата сплав. Буталата с термоустойчиво покритие и тези с химично покритие върху термоустойчивото не показват съществена разлика в температурния градиент. Тази разлика не надвишава 10 °C. Причината за нея може да се търси във факта, че химичното покритие се получава чрез разграждане на част от термоустойчивото, както се установи от предната глава.

По-високото топлинно натоварване на бутала от алуминиеви сплави се отразява отрицателно върху трайността на буталната група. Нанасянето на различни покрития променя топлинното им натоварване.

Буталата с нанесено термоустойчиво анодно покритие върху челото са топлинно по-разтоварени (с около 60°C) от буталата без покритие.

4.3. Изследване на коефициента на триене между детайли от алуминиеви сплави с покрития и детайли от желязо въглеродни сплави

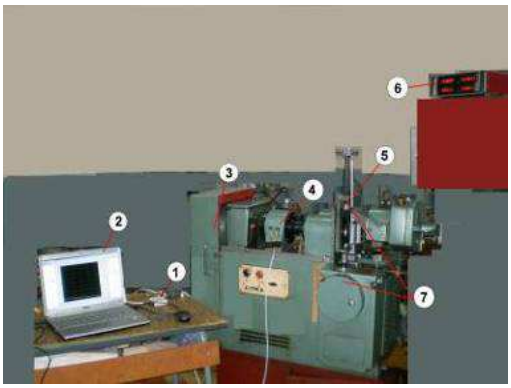
Двоицата от Al-Si сплав / желязо въглеродна сплав се използва широко в транспортната и земеделската техника. Желязо въглеродните сплави се използват

в двигателите за изработване на валове (коляновия вал, разпределителен вал, вал на помпа и др.). Al-Si сплави са с по-ниска маса и по-добра проводимост на топлината от желязото и поради тези причини все повече се използват за изработването на мотовилки в двигателите за малогабаритните земеделски машини а също и за цилиндрови глави, корпуси на помпи и др.

Необходимо е да се провери как влияе вида на покритието на алуминиевата сплав върху носещата способност на маслото. За целта се налага изследването на един от основните трибологични параметри, а именно коефициент на триене, при двоица между Al-Si сплави / желязо въглеродни сплави.

Покритията върху пробните тела от алуминиева сплав са три вида: анодно покритие Al_2O_3; химично покритие и комбинация между анодно покритие Al_2O_3 и нанесено върху него химично. Тези покрития са нанесени по технологиите, споменати в III$^{-та}$ глава. Анодното покритие Al_2O_3 е с дебелина 15μm ±3μm, получено при оптимален режим за минимална дебелина, а химичното - 5μm ±1μm. Комбинацията между двете покрития е с обща дебелина 20μm ±4μm. Пробните тела от желязо въглеродна сплав са изработени от материал, използван за производството на колянови валове, разпределителни валове и валове за помпи (стомана или чугун).

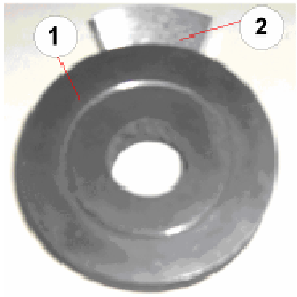
В това изследване, е използван стенд “СМЦ-2” за симулиране условията на триене между валове и лагери с наличието на мазане. Стендът се състои от три основни части: системата за управление, система за натоварване и система за мазане, както е показано на фиг. 4.10.



Фиг. 4.10. Стенд “СМЦ-2” за симулиране на триене в течна среда:

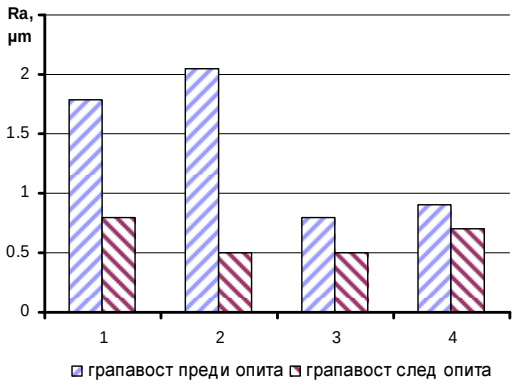
1 - NI DAQ USB-6009; 2 - преносим компютър; 3 – задвижваща система; 4 – преобразувател за въртящ момент;5 - термометър; 6 - импулсен брояч за определяне честотата на въртене, 7 - система за нормално натоварване

Измерваните параметри по време на тестовете са три: нормалното натоварване, силата на триене между пробните тела от Al-Si сплав (лагер) и желязо въглеродна сплав (вал), които са показани на фиг. 4.13., както и температурата в близост до повърхността на триене (фиг. 4.14.). Нормалната сила, се измерва с помощта на аналогова система. За да се симулират реални работни условия триенето се осъществява в смазваща среда.



Фиг. 4.13. Триеща двоица от Al-Si сплав / желязо въглеродна сплав:
1 – пробно тяло от желязо въглеродна сплав (вал); 2 - пробно тяло от Al-Si сплав (лагер).

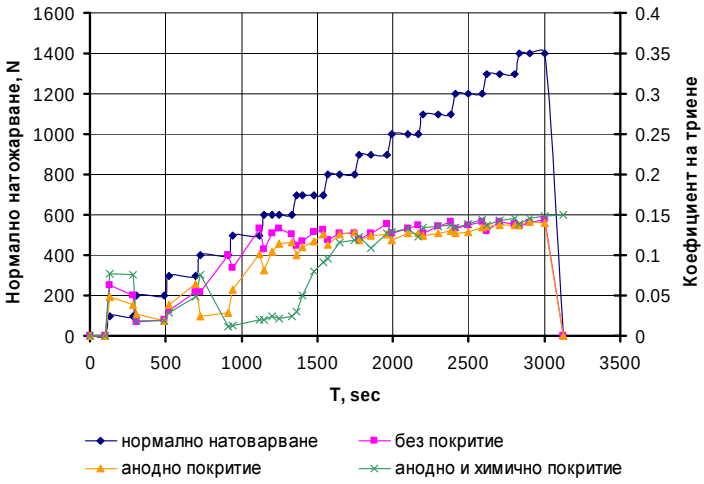
Измервани са и грапавостите на работните повърхнини на секторите преди и след протичане на опита. Резултатите са показани на фиг. 4.15. От фигурата се вижда, че след приключване на опитите грапавостта намалява. Това е още едно доказателство, че не е протекло задиране между ролката и сектора.



Фиг. 4.15. Грапавост на работните повърхнини на секторите преди и след протичане на опита:
1 – сектори с термоустойчиво анодно покритие и нанесено химично конверсионно покритие върху него; 2 – сектори с термоустойчиво анодно покритие; 3 – сектори без покритие; 4 - сектори с нанесено химично конверсионно покритие.

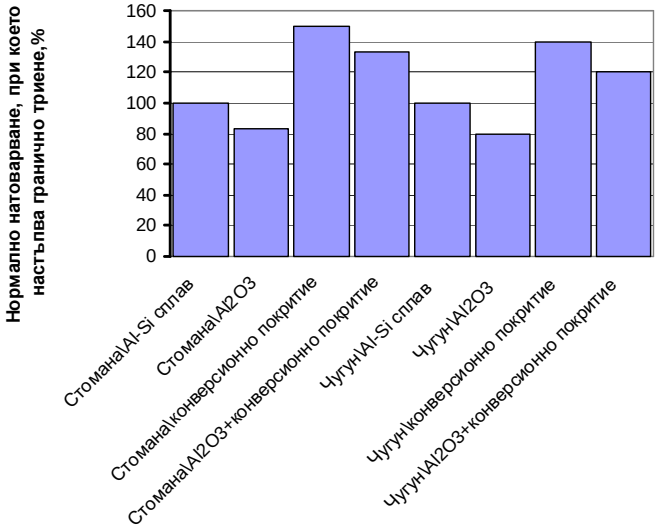
Аналоговият сигнал от преобразувателя за момента на триене постъпва в преносим компютър след като се дискретизира чрез модул USB NI DAQ-6009 за събиране на данни. Чрез използването на VI Logger софтуер, събраните данни се визуализират. След завършване на експеримента данните се прехвърлят в програмата MS Excel.

Интерес представлява началото на намаляване дебелината на масления слой, т. е. преминаването от течно към полутечно и гранично триене. Това е моментът, когато коефициентът на триене се повишава рязко до установената си стойност. На фиг. 4.18. са показани измененията на коефициентите на триене в зависимост от нормалното натоварване за триещи двоици от чугун и алуминиева сплав без покритие, чугун и алуминиева сплав с анодно покритие и чугун и алуминиева сплав с комбинация от анодно и химично покритие. От фигурата се вижда, че преминаването от течно в гранично триене за двоицата чугун и алуминиева сплав с комбинация от анодно и химично покритие се случва при най-голямо нормално натоварване. Това вероятно се дължи на способността на покритието да задържа диполярните молекули на маслото към повърхността си и по този начин да прави по-трудно разкъсването на масления слой.



Фиг. 4.18. Изменение на коефициентите на триене в зависимост от нормалното натоварване за различни триещи двоици

На фиг. 4.19. са показани нормалните натоварвания, когато е настъпил момента на преминаване към гранично мазане за различни комбинации от пробни тела. От графиката се вижда, че нормалното натоварване, когато настъпва граничното мазане е по-високо за двоиците със стоманени пробни тела отколкото при тези с чугунени. Нормалното натоварване при настъпване на граничното мазане е най-голямо за двоиците с пробни тела с химичното покритие.



Фиг. 4.19. Нормалното натоварване, при което настъпва режим на гранично мазане за различни триещи двоици

Нормалното натоварване, при което започва режима на гранично мазане характеризира носещата способност на смазващия филм. Носещата способност зависи от комбинацията на триещите двоици. Анодното покритие увеличава носещата способност на маслото. Химичното покритие нанесено върху анодното повишава още повече носещата способност.

За триещи двоици от Al-Si сплави / желязо въглеродни сплави успешно може да се използва нанасянето на химично (конверсионно) покритие върху анодното.

Глава V Технико-икономически анализ

5.1. Оценка повишаването на трайността на възстановени детайли от алуминиеви сплави с нанесено химично конверсионно покритие върху работни повърхнини

Ефекта от нанасяне на химично конверсионно покритие върху работните повърхнини на нови и възстановени детайли от алуминиеви сплави се изразява в подобряване на трайностните им показатели. Това бихме могли да определим с цената на надеждността, изразена с уравнението

$$C_н = C_з + C_{ор}, \quad (5.1.)$$

Където $C_н$ е цената на надеждността;

$C_з$ – разходите свързани с изработване на заготовката на нови детайли или цената на износения детайл, като отпадък при възстановяване на детайлите;

$C_{ор}$ – разходите, свързани с превантивните или възстановителни покрития.

Целесъобразността от използването на един или друг метод за нанасяне на различни покрития е най-добре да се извърши с помощта на технико-икономическия критерий.

Използването на технико-икономическия критерий е целесъобразно да се прецени с неравенството

$$C_в < K_т . C_н , \quad (5.3.)$$

където $C_в = C_д + C_{пок}$ е себестойността на възстановения детайл от алуминиева сплав с нанесено покритие;

$C_д$ - себестойността на износения детайл като отпадък;

$C_{пок}$ – цената на нанесеното покритие;

$C_н$ - цената на новия детайл;

$K_т$ - коефициентът на трайност на възстановения детайл от алуминиева сплав с нанесено покритие.

Трайностният критерий дава комплексна качествена оценка за метода на възстановяване и качеството на нанесеното покритие и се оценява с коефициента на трайност, изразяващ се с уравнението

$$K_т = K_и K_я K_с K_п , \quad (5.4.)$$

където $K_и$ е коефициентът на износоустойчивост;

$K_я$ - коефициентът на якост на възстановителното и превантивното покритие;

$K_с$ - коефициентът на сцепление на основния метал с покритието;

$K_п$ - поправъчният коефициент, отчитащ фактическата работоспособност на възстановения детайл в експлоатация.

От априорната информация е известно, че нанасянето на химичното конверсионно покритие върху работните повърхнини на детайли от алуминиева сплав повишава относителната износоустойчивост с около 40% спрямо детайлите без нанесено такова покритие.

Ако се приеме, че срокът на служба на детайлите от алуминиева сплав между два ремонта е около 6000 h, то с нанасянето на химично конверсионно покритие трайността се увеличава с 2400 h или общият срок на служба е равен на 8400 h.

5.2. Приложение на резултатите в практиката

Фирма Екоинвестинженеринг ООД гр. Русе преоборудва дизелови двигатели да работят и с газови горива. Поради спецификата на горивния процес се налага

изменение на формата на горивната камера изработена в буталата, което изтънява стената на челата на буталата. Появява се негативен ефект върху топлинното натоварване на буталата. Нанасянето на термозащитни покрития върху челото на буталото намалява топлинното натоварване на буталата, както бе установено в четвърта глава. На фиг. 5.1. и фиг. 5.2. са показани бутала с нанесени покрития, внедрени в дизелови двигатели, преоборудвани за работа и с газови горива.

Липсата на желязо съдържащи елементи в конструкцията на буталата (вложка за първия бутален пръстен) и липсата на каквито и да е други покрития върху повърхността на буталата позволява използването на комбинация от анодно и химично конверсионно покритие (фиг. 5.1. а)).

Поради наличието на вложка и графитно покритие по полата на буталата от фиг. 5.1. б) е нанесено само анодно покритие върху челата и огневите пояси.



а)



б)

Фиг. 5.1. Приложение на покритията върху нови алуминиеви детайли:
а) – анодно покритие върху челата на буталата и химично конверсионно покритие върху повърхността на целите бутала; б) – анодно покритие нанесено върху челата на буталата и огневия им пояс.

Върху челата на буталата от фиг. 5.2. е нанесено само анодно покритие.



Фиг. 5.2. Приложение на покритията върху работили детайли от алуминиеви сплави – нанесено анодно покритие върху челата на буталата

Поради износване на уплътнителната част и разрушаване на компресионните бутални пръстени е причина за разрушаване на уплътнителната част и огневия пояс на буталото (фиг. 5.3.а).





Фиг. 5.3. Приложение на покритията върху възстановени детайли от алуминиеви сплави – нанесено е анодно покритие върху възстановена уплътняваща част на бутало посредством аргоно дъгово наваряване

На фиг. 5.3. б е показано възстановено бутало в защитна газова среда от аргон. След това е извършена механична обработка за възстановяване геометричните размери на уплътнителната част. Нанесено е анодно покритие върху уплътнителната част и огневия пояс.

Резултатите получени в четвърта глава точка 4.3. позволяват използването на изследваните покрития и при детайли от алуминиеви сплави участващи в триещи двоици с детайли от желязо въглеродни сплави. Тези двоици се срещат най-често в двигатели предназначени за малогабаритна земеделска техника. На фиг. 5.4. е показана мотовилка от такъв двигател, изработена от алуминиева сплав.



Фиг. 5.4. Мотовилка от двигател за малогабаритна земеделска техника

Покритията са приложими, както за повърхността на отвора за буталния болт, така и за повърхността на отвора за мотовилковата шийка на коляновия вал.

ОБЩИ ИЗВОДИ

1. За поддържането на съвременната земеделска и транспортна техника в работоспособно състояние е необходимо прилагането на нови ремонтно възстановителни технологии съобразно конструктивните и технологичните й особености. Това налага разработването и внедряването на съвременни ресурсно възстановителни технологии, които са съставна част от технологичния процес на поддържането.

2. Разработени са методики за: 1) експериментално изследване на процеса за нанасяне на анодно или конверсионно и комбинация от двете покрития върху детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника (фиг.2.4.), 2) за определяне на носещата способност на покритията, 3) за определяне на топлинното натоварване на детайли от алуминиеви сплави с покрития.

3. Посредством рентгенов анализ е доказана възможността за нанасяне на химично конверсионно покритие върху предварително нанесено анодно покритие върху работните повърхнини на детайли от алуминиеви сплави.

4. Изследвано е и са установени зависимостите за влиянието на основните управляеми фактори върху изходните параметри на анодното покритие.

5. Въз основа на резултатите от проведените еднофакторни експерименти е определена локалната област на факторното пространство и е реализиран многофакторен експеримент. Получените регресионни уравнения 3.2. и 3.3. показват, че приетият математичен модел е адекватен и с достатъчна точност възпроизвежда изследвания процес.

6. Установени са характеристиките на работния разтвор за получаване на химично конверсионно покритие.

7. Доказано е, че нанесените покрития намаляват топлинното натоварване на детайлите от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника.

8. Доказано е, че с нанасянето на химично конверсионно покритие върху предварително нанесено анодно покритие повишава носещата способност на работните повърхнини от съответните двоици.

9. Предимството на предлаганата технология се изразява в нейната мобилност, не голяма сложност на технологичната екипировка, което дава възможност за по-голяма достъпност за нейното внедряване в дистрибуторски и сервизни фирми за земеделска и транспортна техника.

10. Разработената технология, свързана с нанасяне на превантивни и възстановителни двуслойни покрития върху детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника води до увеличаване на трайностните им показатели, в резултат на което се намаляват и разходите свързани с поддържането на техниката в работоспособно състояние.

ОСНОВНИ ПРИНОСИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

1. Разработени са методики за изследване на процесите за нанасяне на електро химично анодно и химично конверсионно покрития или комбинация от двете върху детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника.

2. Разработени са и са установени основните характеристики на химични разтвори за получаване на химично конверсионно покритие върху детайли от алуминиеви сплави от земеделската и транспортната техника.

3. Разработена е методика за определяне на топлинното натоварване на детайли от алуминиеви сплави без и с допълнително нанесени покрития от земеделската и транспортната техника.

4. Определена е носещата способност на покритията и изменението на температурния градиент при детайли от алуминиеви сплави без и с допълнително нанесени покрития.

5. Разработена е методика за определяне на носещата способност на масления слой при различни покрития върху детайли от алуминиеви сплави.

6. Разработен е технологичен процес и технология за нанасяне на химично конверсионно покритие върху предварително нанесено анодно покритие върху работните повърхнини на детайли от алуминиеви сплави.

7. Доказана ефективността и икономическата целесъобразност от внедряването на технологията за нанасяне на превантивни и възстановителни покрития в условията на фирми за производсво на детайли от алуминиеви сплави и в сервизи за поддържане на земеделската и транспортната техника.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Кадикянов, Г.**, В. Стоянов, Е. Маринов. Проблеми при анодиране на алуминиеви бутала от ДВГ. Trans&MOTAUTO'06, Варна, 2006.
2. **Кадикянов, Г.**, В. Стоянов, Е. Маринов. Повърхностна обработка на алуминиеви детайли от земеделската и транспортна техника. Известия на Съюза на учените – Русе, 2007, брой Серия 1, Том.
3. **Кадикянов, Г.** Изследване на температурния градиент на алуминиеви бутала с покрития. Trans&MOTAUTO'09, Слънчев Бряг, 2009.
4. **Kadikyanov G.**, V. Stoyanov, D. Bekana, E. Marinov. Study of Friction Coefficient between Parts of Aluminum and Iron Containing Alloys. Quality and Reliability of Technical Systems, Nitra, 2010.
5. **Кадикянов Г.**, В. Стоянов, Д. Любенов, Е. Маринов. Изследване стабилността на процеса за нанасяне на противозадирно покритие върху алуминиеви детайли от земеделската и транспортната техника. ЕКО Варна`11, Варна, 2011, ISBN 954 - 20 - 00030.

Increasing durability of aluminum parts of the agricultural and transport machinery

Using innovative technologies that Increase the durability of the machines is an essential element of the maintenance. One of the main methods for increasing the durability is applying preventative coatings on working surfaces of parts of the meeting and machines of the agricultural and transport machinery.

As a promising material for manufacturing of parts of the agricultural and transport machinery were required aluminum alloys. The reasons are mainly the smaller mass, high thermal conductivity and ect., compared with iron carbon alloys. Such parts of aluminum alloys of agricultural and transport machinery are: cylinder blocks, cylinder heads, pistons pump blocks, rods for engines for small-size agricultural machinery and etc. These parts of aluminum alloys usually work in very hard conditions and are often the most important for assemblies and machines.

The aim of the dissertation is to improve the durability of new and reconditioned parts made of aluminum alloys in terms of production and maintenance of agricultural and transport machinery.

One of the promising coatings on working surfaces of parts of aluminum alloys is anodic coating. It has properties that enhance the quality of the surface, but has its drawbacks. For example, increasing the surface roughness.

Technology for anodizing and subsequent application of chemical conversion coating on the working surfaces of aluminum parts is developed. The main properties of those coatings are investigated. It has been shown to improve the properties of the working surfaces of parts from aluminum alloys and economical expedience is made.