

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА

инж.Георги Томов

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСА НА РЕМОНТНО
ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ОТ КОРАБНИ
МАШИНИ ЧРЕЗ СЕЛЕКТИВНО НАНАСЯНЕ НА
ПОКРИТИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН
"ДОКТОР"

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Пл.Дичев
проф. д.н. инж. Хр.Скулев

Рецензенти:

1.

2.

ВАРНА 2019

Дисертационният труд е обсъден на 31.01.2019г. на КС в катедра „Корабостроене и Корабни машини и механизми“ и е насочен за защита.

Автор: инж.Георги Томов

Зглавие: Изследване на процеса на ремонтно възстановяване на детайли от корабни машини чрез селективно нанасяне на покрития

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА

инж.Георги Томов

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСА НА РЕМОНТНО
ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ОТ КОРАБНИ
МАШИНИ ЧРЕЗ СЕЛЕКТИВНО НАНАСЯНЕ НА
ПОКРИТИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНА И НАУЧНА СТЕПЕН
"Доктор"

ВАРНА 2019

Дисертационният труд съдържа 153 страници, включително 74 фигури, 33 таблици и 1 приложение, оформени в 5 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 141 заглавия, от които 31 на кирилица и 110 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на г. от ч. в на открито заседание на жури, сформирано със заповед на Ректора №/..... г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се във ФД “Докторанти”, стая 318 НУК

I ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1 Актуалност на проблема

Кораборемонта е пазарна ниша за която са характерни високи изисквания, прецизност, дълговечност, високо ниво на качество и едновременно с това кратки срокове и възможно по-ниска себестойност на извършване на ремонтните дейности. Развитието на технологиите позволява все по-кратко задържане на корабите в кораборемонтните предприятия, като това позволява по-бързо възвръщане на инвестиция на корабособственика. Нуждата от бързи, качествени и прецизни ремонтни дейности предизвиква необходимостта от внедряване на нови методи при възстановяване на корабните машини и механизми работещи в особено агресивни среди.

Селективното нанасяне на покрития е интересна и перспективна технология за нанасяне на декоративни слоеве с цел възстановяване и / или повишаване на повърхностната твърдост и изнosoустойчивост на работните детайли.

Актуалността на предлаганата тема на дисертационния труд произтича от необходимостта за въвеждането на нови технологии в областта на кораборемонта, свързани с намаляване на сроковете за престой на кораба. Това повишава научните търсения в насока изследване на нови технологии за нанасяне на повърхностни декоративни покрития, техните свойства, възможностите за подобряването на качествата им и разширяване на приложението им. Желан ефект е съкращаването на сроковете за извършване на ремонта и повишаване ресурса на корабните машини и механизми.

2 Цел и задачи на дисертационния труд

Основната цел на дисертацията е: Изследване на процеса на ремонтно възстановяване на детайли от корабни машини чрез селективно нанасяне на покрития Така поставената цел се решава чрез съответните конкретни задачи:

- 1 Формулиране и разработка на методика на изследване с цел

оценка качествата на полученото селективно покритие върху корабостроителните материали.

- 2 Изследване на структурата и механичните свойства на селективните покрития, след нанасянето им върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V.
- 3 Разглеждане методите за теоретично прогнозиране и оптимизиране, характеристиките на нанесеното селективно покритие по метода "*Brush – plating*", върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V.
- 4 Приложение на селективното нанасяне на покрития по метода "*Brush – plating*" при възстановяване на детайли от стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V в корабостроенето и кораборемонта.

3 Обект и място на изследване

Обект на изследване в настоящата работа е "Изследване на процеса на ремонтно възстановяване на детайли от корабни машини чрез селективно нанасяне на покрития в частност методът "*Brush – plating*", като се установят технологичните възможности на процеса по експериментален път. Изследванията са проведени в катедра MTM.

4 Научна новост на изследването

Като научна новост може да се определят резултатите от изследванията на входните технологични параметри на процеса "*Brush – plating*", при нанасяне на селективни покрития върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V, тъй като те допълват знанията за протичането на процеса и за по ефективно използване на апаратурата за нанасяне на селективни покрития.

5 Реализация на резултатите

Основните практически приноси се отнасят до приложение на селективните покрития, нанесени по метода "*Brush – plating*", върху стомана 316L и титанова сплав Ti-6Al-4V, усъвършенстване и проверовъчно изпитание на повърхностите. Оптимизирането на технологичните параметри на процеса, с оглед изпъл-

зването им при съставяне на конкретни технологии за повърхностно модифициране на детайли изработени от стомана 316L и титанова сплав Ti-6Al-4V.

Практическа реализация на метода е разработването на технологични процедури за възстановяване на детайли от корабните машини изработени от стомана 316L и титанова сплав Ti-6Al-4V.

6 Аprobация на резултатите

Работата е одобрявана периодично и като цяло на заседания на катедра "Корабостроене и Корабни машини и механизми" при КФ на ТУ-Варна.

7 Публикации по дисертационния труд

Основните етапи от разработването на дисертационния труд са отразени в 5 публикации, списък на които е приложен в края на автореферата.

II КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ОСНОВНИТЕ РЕЗУЛТАТИ ОТ ДИСЕРТАЦИЯТА

Глава1 Литературен обзор

В прегледа на литературата са разгледани и съпоставени различните метали използвани в корабостроенето. Анализирани са и са съпоставени различни методи за повърхностно модифициране и възстановяване. По-обширно е разгледан изследвания метод за нанасяне на селективни покрития "*Brush – plating*" и възможностите за приложението му в кораборемонта и корабостроенето при ремонтно възстановяване на детайли от корабните машини и механизми. В края на главата са направени изводи от литературното проучване и са формулирани целта и задачите на дисертационната работа.

Глава2 Методика на изследването

В тази глава е направен преглед на методиките на настоящите изследвания. За целта е използван метода за нанасяне на селективни покрития, методи за измерване на грапавостта след

нанасяне на селективни покрития и за определяне на повърхностна микротвърдост, а също така и методика за планиране на експерименталното изследване.

Глава3 Изследване влиянието на технологичните параметри върху качествата на покрития, нанесени по метода "Brush-plating", върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V

3.1 Нанасяне на покритие кобалт

3.1.1 Върху образци от стомана 316L

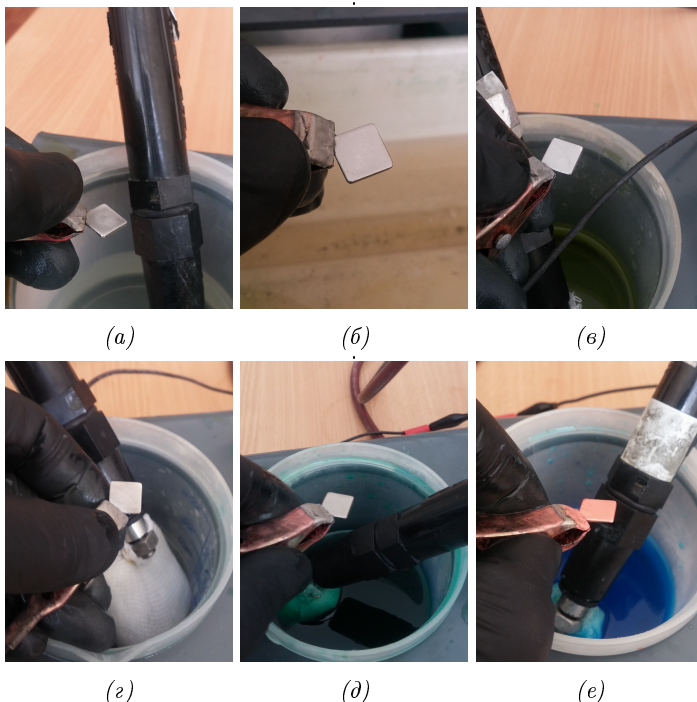
Принципната процедура за нанасяне на защитно-декоративно покритие кобалт е описана накратко в табличен вид в табл.1. За получаването на качествено покритие с добра адхезия към основния материал, фиг. 2 е изключително важно да се спазват стъпките по предварителна подготовка и активиране на материала, показани нагледно на фиг. 1а, 1б, 1в. След нанасяне на финалния слой, визуално покритието изглежда с равномерен млечно-сив цвят фиг. 3.

Параметрите на процеса по нанасяне на финалния слой кобалт върху стомана 316L са съгласувани с методиката описана в Глава 2 и са представени в табличен вид в табл. 1.

3.1.2 Върху образци от титаниева сплав Ti-6Al-4V

Спецификата на работа с титан и титаниеви сплави изисква много внимателно извършване на операциите по подготовка и активиране на основния метал. За титана е характерно образуването на окисен слой който се явява пречка за нанасяне на защитно-декоративни покрития. За целите на експеримента беше нужно повърхностния окис да бъде премахнат чрез интензивно притриване с шкурка.

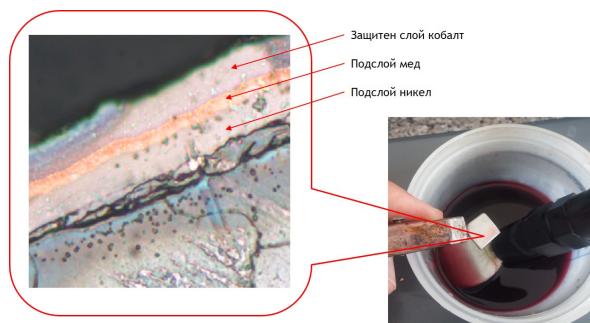
По своята същност останалите операции по електрохимично почистване, ецване и активиране, наподобяват тези за неръждае-



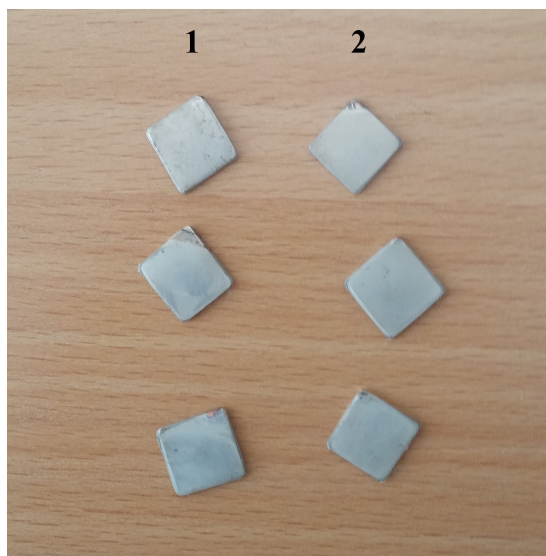
Фигура (1) Последователност на нанасяне подслоя от мед код 2050/5250 върху образци от стомана 316L, както следва: а) Преди обработка, б) след почистване с електроклийн код 4100, в) Повърхност на образца след ецване на обратна полярност с ецващ и активиращ разтвор №4 код 1024/4250, г) Повърхност на образца след третиране с активатор 1, д) Образец с нанесен подслой никел с код 2080/5600, е) Образец с нанесен подслой мед код 2050/5250.

ма стомана 316L. Ецването се осъществява с Ецващ и активиращ разтвор №3, както е описано в табл. 2

Параметрите на процеса по нанасяне на финалния слой Кобалт върху титаниева сплав са съгласувани с методиката описана в Глава 2 и са представени в табличен вид в табл. 2.



Фигура (2) Образец с нанесен защитно-декоративен слой кобалт код 5200, наблюдава се добра адхезия към основния материал и между нанесените слоеве, типичен млечно-сив цвят на покритието.



Фигура (3) Серия образци с нанесен защитно-декоративен слой Кобалт: 1 - 316L; 2 - Ti-6Al-4V.

Стъпка	Операция	Материал	Напрежение, V	Полярност	Визуална инспекция и коментари
1	Електропочистване	Електро-клийн Номер 1010/4100	10 до 20	Прав	Да няма капки след последващото промиване.
2	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
3	Предварително омокряне и ецване	№4 Ецващ и активатор разтвор Номер 1024/4250	8 до 15	Обратна	Еднородна светло сива полирана повърхност. Предварителното омокряне подобрява еднородността на ецнатата повърхност.
4	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
5	Предварително омокряне и Активиране	№1 Активатор Код 1021/4200	12 до 20	Прав	Не трябва да се наблюдава визуална промяна.
6	Без изплакване				
7	Нанасяне на подслои Ni	Nickel Acid 2080/5600	8 до 25	Прав	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се цвета на покритието да бъде светло сив, леко матов.
8	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
9	Нанасяне на подслои Cu	Copper Heavy build 5280	6 до 25	Прав	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за полу-ярък до ярък меден цвят.
10	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
11	Нанасяне на покритие Co	Cobalt 5200	6 до 20	Прав	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за светло-сиво, млечно покритие.

Таблица (1) Процес за нанасяне на покритие кобалт код5200, по метода Brush-plating, върху детайл от стомана 316L.

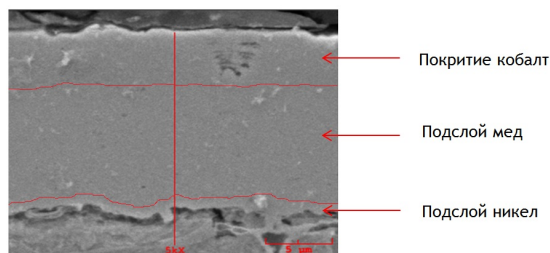
Стъпка	Операция	Материал	Напрежение, V	Полярност	Визуална инспекция и коментари
1	Електропочистване	Електро-клийн Номер 1010/4100	10 до 20	Прав	Да няма капки след последващото промиване.
2	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
3	Предварително омокряне и ецване	№3 Ецващ и активиращ разтвор Номер 4350	10 до 25	Обратна	Еднородна светло сива полирана повърхност. Предварителното омокряне подобрява еднородността на ецнатата повърхност.
4	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
5	Предварително омокряне и Активиране	№1 Активатор Код 1021/4200	12 до 20	Прав	Не трябва да се наблюдава визуална промяна.
6	Без изплакване				
7	Нанасяне на подслои Ni	Nickel Acid 2080/5600	8 до 25	Прав	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се цвета на покритието да бъде светло сив, леко матов.
8	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
9	Нанасяне на подслои Cu	Copper Heavy build 5280	6 до 25	Прав	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за полу-ярък до ярък меден цвят.
10	Промиване	Чиста дестилирана вода	---		
11	Нанасяне на покритие Co	Cobalt 5200	6 до 20	Прав	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за светло-сиво, млечно покритие.

Таблица (2) Процес за нанасяне на покритие кобалт код 5200, по метода Brush-plating, върху детайл от титаниева сплав Ti-6Al-4V.

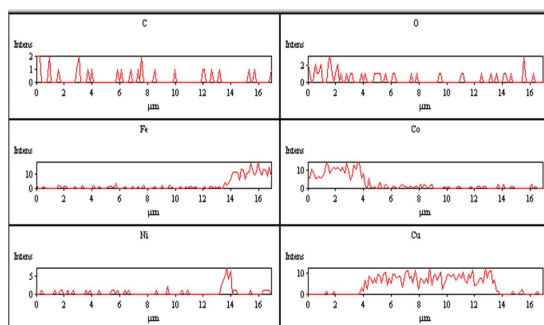
3.2 Елементен анализ (EDS)

За предварителна прогноза на характеристиките на покритието беше извършен елементен анализ на нанесените слоеве по метода „Brush-plating“. Морфологията на слоевете беше изследвана на сканиращ електронен микроскоп JOEL, JSM 6060LU. Повърхностите бяха установени посредством енергийно дисперсивен детектор (EDS), прикрепен към микроскопа. Част от резултатите са показани по-долу във графичен и табличен вид.

3.2.1 Елементен анализ на покритие кобалт, нанесено върху образци от стомана 316L

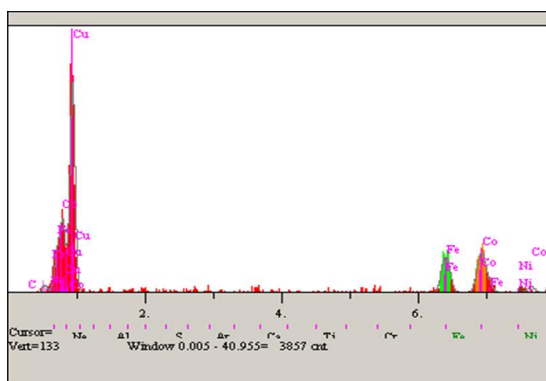


Фигура (4) Електронно микроскопско изображение на образец от стомана 316L с нанесени подслой никел, подслой мед и покритие кобалт.



Фигура (5) Графика от електронно дисперсионен анализ, показваща елементното съдържание на въглерод, кислород, желязо, кобалт, никел и мед, в дълбочина на нанесените слоеве върху образец от стомана 316L, съответстващо на микроскопското изображение от фиг. 4.

На фиг. 4 е приложено микроскопско изображение на покритие кобалт, нанесено върху образец от стомана 316L, защитния слой кобалт е нанесен според технологичните параметри описани за експеримент 9, X_1 - 10V, X_2 - 1.55A/cm², X_3 - P320 бяло кече. Установено е, че няма примесване на елементите, които изграждат нанесените слоеве фиг. 5. Приложен е средностатистически анализ на елементното съдържание в изследваното сечение от образца, резултатите са представени графично на фиг. 6. Процентното съдържание на елементите на нанесения слой е приложено в табл. 3.



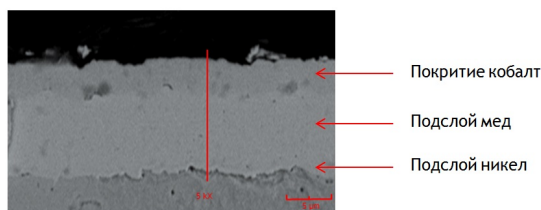
Фигура (6) Графика от електронно дисперсионен анализ, показваща повърхностното елементно съдържание на нанесените слоеве върху образец от стомана 316L.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	0.000	wt. %	
O	Ka	3.29	1.147	11.479	3.294	wt. %	
Fe	Ka	29.07	3.410	17.328	17.356	wt. %	
Co	Ka	31.88	3.571	20.613	21.787	wt. %	
Ni	Ka	1.15	0.678	0.978	1.029	wt. %	
Cu	Ka	48.56	4.407	49.603	56.533	wt. %	
				100.00	100.00	wt. %	Total

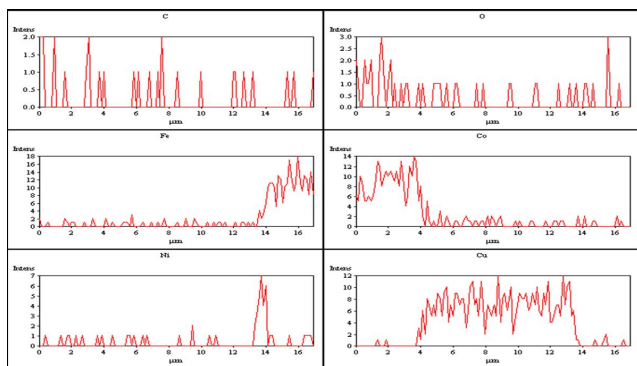
Таблица (3) Резултати повърхностен елементен анализ на покритие нанесено върху образец от стомана 316L

3.2.2 Елементен анализ на покритие кобалт, нанесено върху образец от титаниева сплав Ti-6Al-4V

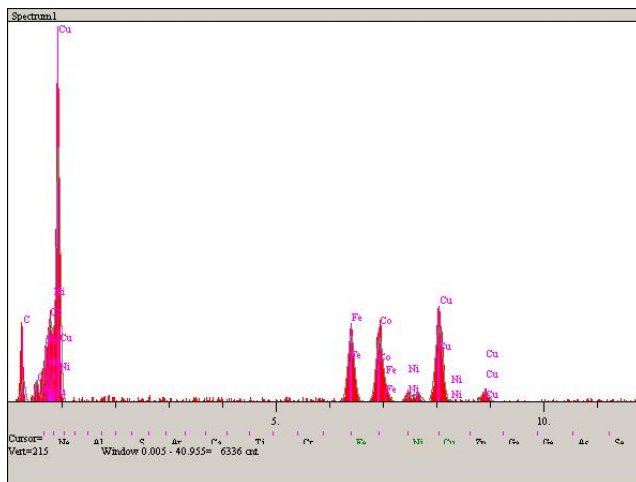
Направен е елементен анализ на покритие кобалт нанесено върху образец от титаниева сплав Ti-6Al-4V на фиг. 7. Защитния слой кобалт е нанесен според технологичните параметри описани за експеримент 7, напрежение - 8V, плътност на тока - 1.55 A/cm^2 , посредством електрод обвит с P400 - памучно кече. Установено е, че няма примесване на елементите, които изграждат нанесените слоеве фиг. 8. Приложен е средностатистически анализ на елементното съдържание в изследваното сечение от образца, резултатите са представени графично на фиг. 9. Процентното съдържание на елементите на нанесения слой е приложено в табл. 4.



Фигура (7) Електронно микроскопско изображение на образец от стомана 316L с нанесени подлой никел, подслой мед и покритие кобалт.



Фигура (8) Графика от електронно дисперсионен анализ, показваща елементното съдържание в дълбочина на нанесените слоеве върху образец от стомана 316L.



Фигура (9) Графика от електронно дисперсионен анализ, показваща повърхностното елементно съдържание на нанесените слоеве върху образец от стомана 316L.

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units	
C	Ka	11.76	2.164	42.373	14.876	wt. %	
O	Ka	10.60	2.059	12.859	6.014	wt. %	
Fe	Ka	58.85	4.851	10.334	16.869	wt. %	
Co	Ka	56.98	4.774	11.008	18.962	wt. %	
Ni	Ka	6.59	1.623	1.632	2.801	wt. %	
Cu	Ka	73.56	5.424	21.793	40.479	wt. %	
				100.00	100.00	wt. %	Total

Таблица (4) Резултати повърхностен елементен анализ на покритие нанесено върху образец от титаниева сплав Ti-6Al-4V.

От направените изследвания беше установено, че елементният състав на нанесените слоеве е постоянен, без значение типа на основния материал и отговаря на количественото съотношение заявено от фирмата производител на разтворите.

Всички изследвания показват идентичност на нанесения слой по технологията „Brush-plating”

3.3 Изследване на микрограпавостта

Повърхнините на детайлите след нанасяне на защитно-декоративно покритие, по метода "Brush-plating" не са идеално гладки. По тях са разположени в определен ред или произволно издатини и падини с определена височина и форма и сравнително малка стъпка, известни под наименованието грапавини.

№	Фактори			Резултати - Ra, μm	
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁ - 316L	Y ₁ - Ti64
1	8	0.77	P 400 - Памучна марля	0.73	0.70
2	8	1.55	P 240 - Червено кече	1.34	1.36
3	12	0.77	P 240 - Червено кече	1.01	1.04
4	12	1.55	P 400 - Памучна марля	1.03	1.01
5	8	0.77	P 240 - Червено кече	1.03	1.00
6	12	0.77	P 400 - Памучна марля	0.63	0.64
7	8	1.55	P 400 - Памучна марля	1.00	1.05
8	12	1.20	P 320 - Бяло кече	0.92	0.93
9	10	1.55	P 320 - Бяло кече	1.13	1.13
10	10	1.20	P 240 - Червено кече	1.15	1.15
11	10	1.20	P 320 - Бяло кече	0.94	0.89
12	12	1.55	P 240 - Червено кече	1.36	1.29
13	10	1.20	P 400 - Памучна марля	0.87	0.85
14	8	1.20	P 320 - Бяло кече	0.98	0.94
15	10	0.77	P 320 - Бяло кече	0.85	0.86

Таблица (5) Резултати от измерването на микрограпавост Ra след нанасяне на покритие от кобалт върху образци от стомана 316L и Ti-6Al-4V.

В съответствие със стандарта, за този вид повърхностна обработка и дебелина на нанесените покрития върху образците, се предписва грапавост от порядъка на Ra= 0,5-2,0 μm . За тази грапавост избираме базова дължина на повърхнината равна на 0,25mm. Експерименталните изходни образци са измерени с установката разгледана в Глава 2 на настоящия труд, в две съседни сечения за да се обхване целия изследван участък .

Получените профилограми са съвкупност от грапавини, които оформят релефа на повърхнината получена преди и след нанасяне на защитен слой Кобалт и се оценяват в участък, несъдържащ отклонения на формата и вълнообразност.

Недостатък на контактния профиломер, е че параметрите могат да се изчислят само за част от повърхнината, т.е. те са изчислени

от двуизмерен разрез на профила, въпреки че повърхнината е триизмерна. Тази част от повърхнината зависи от разстоянието между следите от обработката и големината на грапавостта.

Част от получените параметри на образците преди нанасяне на покритие са измерени с контактния профиломер Mitutoyo Surf test SJ-301. Резултатите от замерването на повърхностната микрограпавост на защитен слой кобалт код 5200 нанесен върху образци от стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V са представени в табличен вид в табл.5.

На базата на проведения експеримент се вижда, че най-голяма стойност на осреднената височина на грапавините (Ra) се получава при плътност на тока 1.55 A/cm^2 и нанасяне чрез електрод обвит с червено кече - максимална стойност в порядъка на $1.36 \mu\text{m}$, а най-малка стойност $0.63 \mu\text{m}$ при нанасяне на слоя чрез електрод обвит с памучна марля и при плътност на тока 0.77 A/cm^2 .

3.4 Изследване на твърдостните характеристики

Направени са измервания на повърхностната твърдост на образци с нанесено защитно-декоративно покритие от кобалт, при различна сила на тока, върху образци от стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V, а някои от резултатите са показани на фиг.10а и в табл. 6.

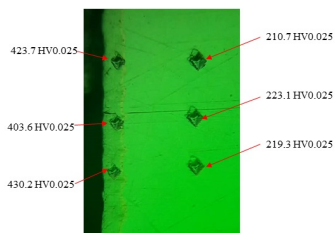
От направените изследвания беше установено, че микротвърдостта се увеличава с увеличаване на напрежението на токоизточника при нанасяне на защитния слой кобалт. В рамките на проведения експеримент, микротвърдостта на нанесеното покритие нараства до стойности на напрежението 12V, $HV = 662.7HV0.025$.

№	Фактори			Резултати - HV, HV0.025	
	X_1	X_2	X_3	Y_2 - 316L	Y_2 - Ti64
1	8	0.77	P 400 - Памучна марля	363.7	365.1
2	8	1.55	P 240 - Червено кече	545.3	542.6
3	12	0.77	P 240 - Червено кече	658.1	662.7
4	12	1.55	P 400 - Памучна марля	419.2	421.1
5	8	0.77	P 240 - Червено кече	550.0	549.1
6	12	0.77	P 400 - Памучна марля	423.3	419.2
7	8	1.55	P 400 - Памучна марля	367.1	366.2
8	12	1.20	P 320 - Бяло кече	485.7	486.3
9	10	1.55	P 320 - Бяло кече	461.9	460.4
10	10	1.20	P 240 - Червено кече	630.7	631.5
11	10	1.20	P 320 - Бяло кече	460.1	460.7
12	12	1.55	P 240 - Червено кече	662.3	661.4
13	10	1.20	P 400 - Памучна марля	394.3	393.5
14	8	1.20	P 320 - Бяло кече	429.1	428.6
15	10	0.77	P 320 - Бяло кече	460.4	459.8

Таблица (6) Експериментални резултати от измерването на микротвърдост HV0.025, на слой кобалт, върху образец от стаомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V.



(а)



(б)

Фигура (10) а) Подготвен за микротвърдостно изследване шлиф.; б) P320 - Червено кече; Измерване на микротвърдост в дълбочина експеримент № 4 за стомана 316L, при параметри на режима X_1 - 12V, X_2 - 1.55A/cm², X_3 - P400 Памучна марля. Вzeti са по 3 замера на образец.

3.5 Изследване на скоростта на нанасяне на покритието

Съществува зависимост между времето за нанасяне на определена дебелина на защитния слой и технологичните параметри на процеса. Беше проведено изследване относно получената дебелина на нанесения слой за фиксирано време 60sek(1min). Резултатите от този експеримент, за образци от стомана 316L и на за образци от титаниева сплав Ti-6Al-4V, са изведени в табл. 7.

№	Фактори			Резултати - V, $\mu\text{m}/\text{min}$	
	X_1	X_2	X_3	Y_3 - 316L	Y_2 - Ti64
1	8	0.77	P 400 - Памучна марля	2.47	2.43
2	8	1.55	P 240 - Червено кече	3.70	3.59
3	12	0.77	P 240 - Червено кече	3.49	3.55
4	12	1.55	P 400 - Памучна марля	9.71	9.69
5	8	0.77	P 240 - Червено кече	1.12	1.15
6	12	0.77	P 400 - Памучна марля	5.17	5.10
7	8	1.55	P 400 - Памучна марля	5.31	5.45
8	12	1.20	P 320 - Бяло кече	6.74	6.70
9	10	1.55	P 320 - Бяло кече	6.32	6.39
10	10	1.20	P 240 - Червено кече	4.34	4.31
11	10	1.20	P 320 - Бяло кече	4.91	4.99
12	12	1.55	P 240 - Червено кече	7.41	7.29
13	10	1.20	P 400 - Памучна марля	6.14	6.07
14	8	1.20	P 320 - Бяло кече	3.06	3.02
15	10	0.77	P 320 - Бяло кече	3.12	3.06

Таблица (7) Резултати за дебелината на нанесения слой кобалт, върху образци от стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V, за време 60секунди.

На база получените резултати от проведения експеримент, беше установено че технологичните параметри на процеса „Brush-plating”, влияят на скоростта на нанасяне на защитно-декоративния слой кобалт, като беше констатирано че:

- при повишване на напрежението скоростта на нанасяне се покачва;
- при повишаване на плътността на тока скоростта на нанасяне се покачва;
- при увеличаване грапавостта на обшивката на електрода скоростта на нанасяне намалява.

Глава4 Математически анализ на процеса ”Brush-plating” за нанасяне на покритие кобалт 5200

Отчитайки приетия план на експеримента, формула [2.8] и броя на проведените експерименти е приет регресионен модел във вид на следния полином:

$$\begin{pmatrix} Ra \\ HV \\ V \end{pmatrix} = \sum_{k,m,n} C_{kmn} \cdot U^k \cdot I^m \cdot (P/100)^n \quad (1)$$

Където:

Ra - Повърхностна микрограпавост, μm

HV - Повърхностна микротвърдост, HV0.025

V - Скорост на нанасяне на повърхностния слой, $\mu m/min$

C_{kmn} - полиномни коефициенти

U - Напрежение, V

CD - Плътност на тока, A/cm^2

P/100 - тип на използваната обшивка на електрода

Изведените регресионни зависимости са валидни в границите на изменение на технологичните параметри

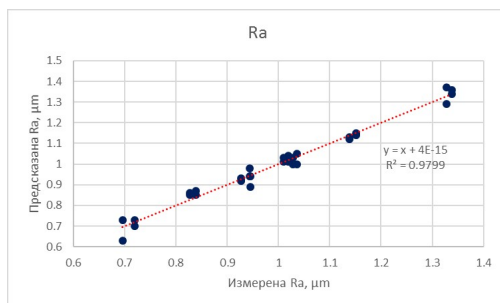
Техн. параметър	минимум	максимум	размерност
U	8	12	V
I	0.77	1.55	A/cm^2
P	2.4	4	P/100

Таблица (8) Таблица с диапазона на валидност на получената регресионна зависимост.

4.1 Повърхностна микрограпавост

Променливи U, I, P			
k	m	n	C_{kmn}
			$Ra, \mu m$
0	0	0	2.0884
1	0	0	0.0539
0	1	0	-0.4339
0	0	1	-0.6754
1	1	0	-0.0003
0	1	1	0.0051
1	0	1	-0.0023
2	0	0	-0.0026
0	2	0	0.3536
0	0	2	0.0777
r^2			0.9799

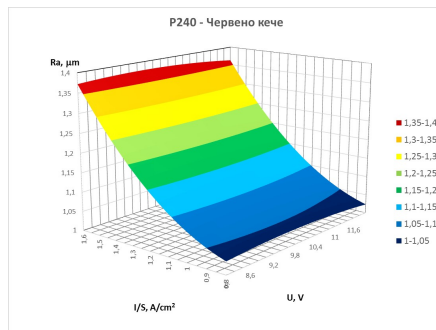
Таблица (9) Коефициенти на регресионния полином за повърхностна микрограпавост Ra .



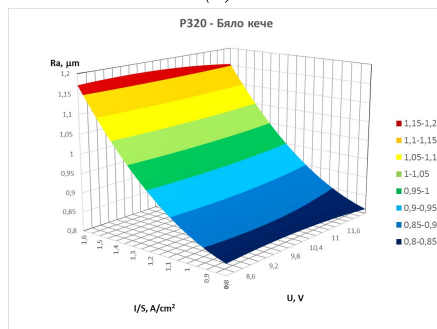
Фигура (11) Корелация между измерена и предсказана величина на повърхностната микрограпавост.

На база получените регресионни данни, бяха съставени 3D диаграми на изменението на повърхностната микрограпавост при нанасяне на повърхностен слой кобалт при фиксиран параметър на процеса - типа на обшивка на електрода и изменящи се плътност на тока и напрежение фиг. 12а, фиг. 12б и фиг. 12в

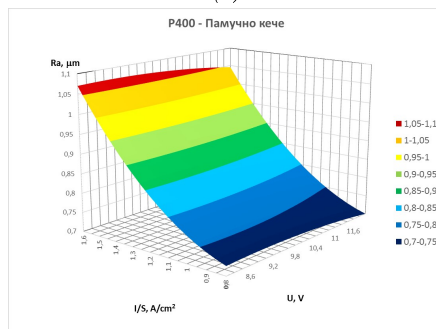
3D диаграмите са направени поотделно за различните видове обшивка на електрода. За отчитане влиянието на типа на кечето на фиг. 13 са сравнени сечения на регресионните повърхности при различни видове обшивка на електрода. Отчита се повишаване на повърхностната микрограпавост Ra , с повишаване на грапавостта на кечето.



(a)

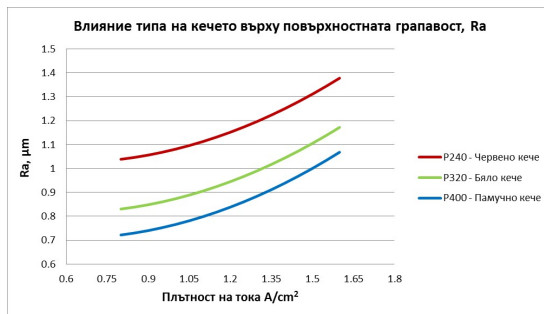


(б)



(в)

Фигура (12) 3D диаграма на регресионната функция за изменението на повърхностната микрогравост при изменение на плътността на тока и напрежението за покритие от кобалт код 5200 и при фиксиран тип обшивка на електрода: а) R240 - Червено кече; б) R320 - Червено кече; в) P400 - Червено кече



Фигура (13) Сечения на 3D диаграмите за грапавост, при напрежение $U=10V$, показващи влиянието на типа кече върху повърхностната микрограпавост Ra , на покритие кобалт 5200.

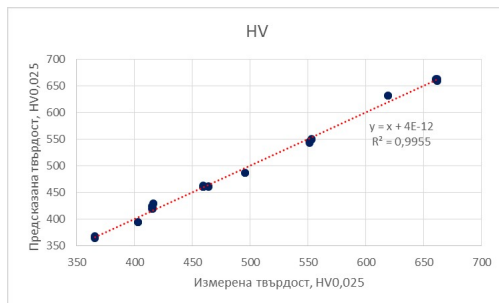
4.2 Повърхностна микротвърдост

На база получените регресионни данни, бяха съставени 3Д диаграми на изменението на повърхностната микротвърдост при нанасяне на повърхностен слой кобалт при фиксиран параметър на процеса - тип на обшивката на електрода и изменящи се параметри плътност на тока и напрежение фиг. 15а, фиг. 15б и фиг. 15в.

Променливи U, I, P				
k	m	n	C_{kmn}	
			HV0.025	
0	0	0	922.3886	
1	0	0	88.9642	
0	1	0	66.9409	
0	0	1	-515.138	
1	1	0	0.2292	
0	1	1	1.2537	
1	0	1	-9.25	
2	0	0	-1.991	
0	2	0	-31.7867	
0	0	2	73.6111	
r^2			0.9955	

Таблица (10) Коefициенти на регресионния полином за повърхностна микротвърдост, HV.

3D диаграмите са направени поотделно за различните видове обшивка на електрода. За отчитане влиянието на типа кече, на фиг. 16 са сравнени сечения на регресионните повърхности при различни видове обшивка на електрода. Наблюдава се повиша-



Фигура (14) Корелация между измерена и предсказана величина на повърхностната микротвърдост.

ване на повърхностната микротвърдост HV0.025, с повишаване на грапавостта на кечето.

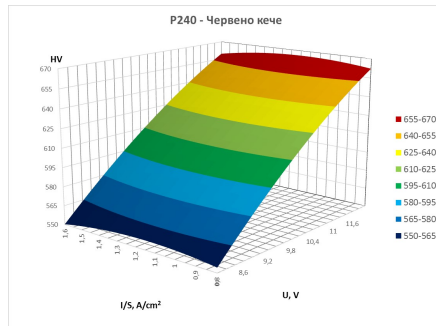
4.3 Скорост на нанасяне на покритие

Променливи U, I, P			
k	m	n	C_{kmn}
			$\mu\text{m}/\text{min}$
0	0	0	-3.3917
1	0	0	0.6865
0	1	0	-0.1936
0	0	1	-2.2364
1	1	0	0.4779
0	1	1	0.4626
1	0	1	0.0715
2	0	0	-0.0317
0	2	0	-0.7247
0	0	2	0.3251
r^2			0.9986

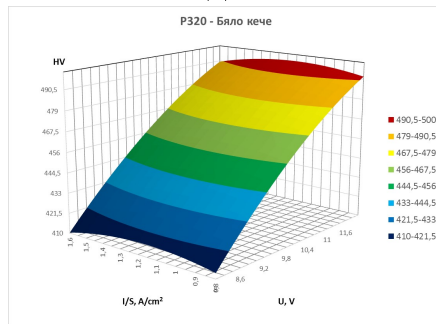
Таблица (11) Коефициенти на регресионния полином за скоростта на нанасяне на покритие кобалт, V, $\mu\text{m}/\text{min}$

На база получените регресионни данни, бяха съставени 3D диаграми на изменението на скоростта на нанасяне при изменение на технологичните параметри плътност на тока и напрежение, при фиксиран параметър на процеса - тип обшивка на електрода фиг. 18а, фиг. 18б и фиг. 18в.

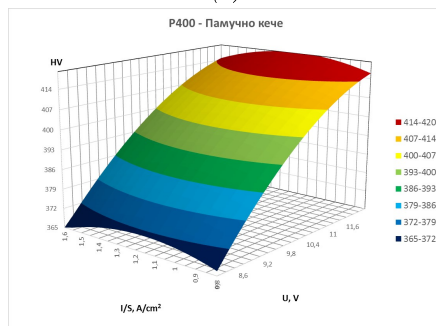
3D диаграмите са направени поотделно за различните видове обшивка на електрода. За отчитане влиянието на типа на кечето на



(a)

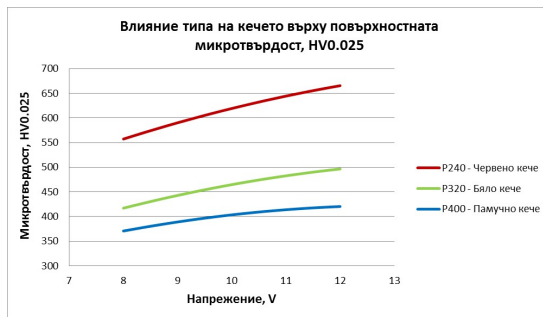


(б)

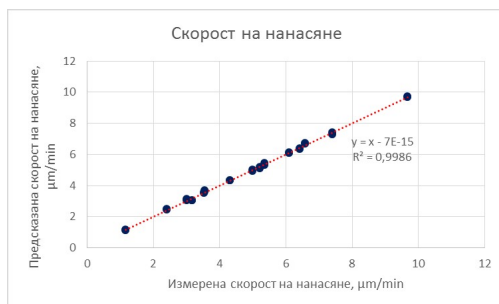


(в)

Фигура (15) 3D диаграма на регресионната функция за изменението на повърхностната микротвърдост при изменение на плътността на тока и напрежението за покритие от кобалт код 5200 и при фиксиран тип обшивка на електрода: а) R240 - Червено кече; б) R320 - Червено кече; в) R400 - Червено кече.



Фигура (16) Сечения на 3D диаграмите за микротвърдост, при плътност на тока $CD=1.20 \text{ A/cm}^2$, показващи влиянието на типа кече върху микротвърдостта HV, на покритие кобалт 5200.

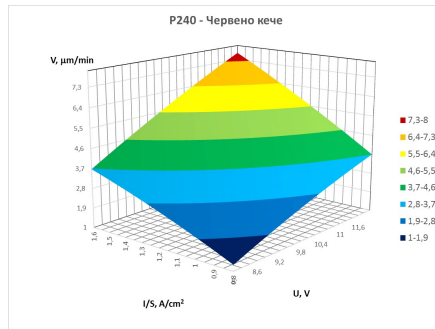


Фигура (17) Корелация между измерена и предсказана величина на скоростта на нанасяне на покритие кобалт.

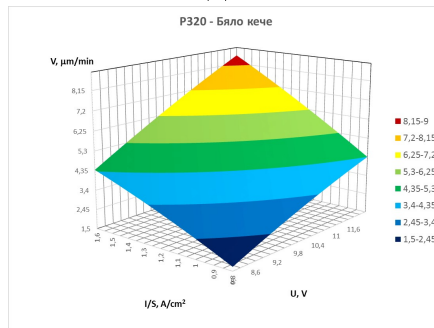
фиг. 19 са сравнени сечения на регресионните повърхности при различни видове обшивка на електрода и напрежение $U=12V$, а на фиг. 20 са сравнени сечения на регресионните повърхности при различни видове обшивка на електрода и плътност на тока $I=1.55 \text{ A/cm}^2$. Отчита се повишаване на скоростта на нанасяне на покритието кобалт, с намаляване на грапавостта на обшивката на електрода.

Главаб Възстановяване на детайли от помпени системи - технология и приложение

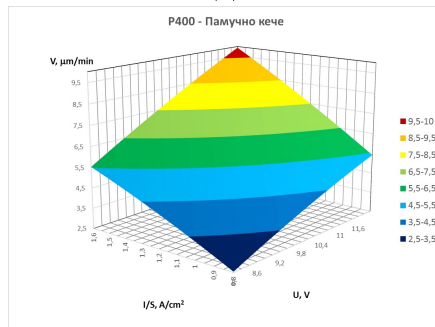
Две помпи за морска вода, помпа аварийна пожарна, TAİKO KİKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB и помпа морска вода Grundfos CRTE 16, собственост на компания „Columbia Shipmanagement“, Република Кипър, които са дефектирали, бяха



(a)

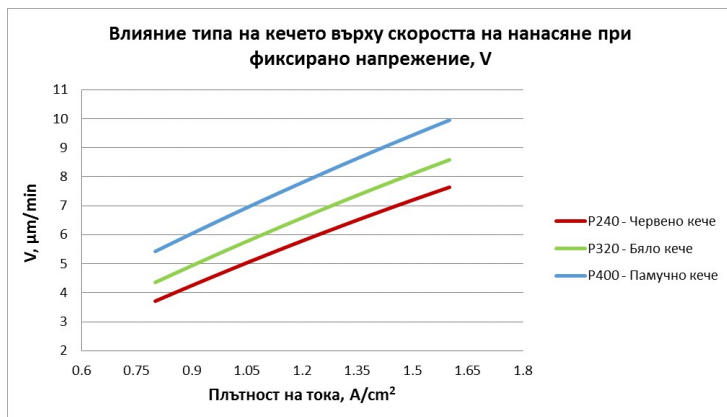


(б)

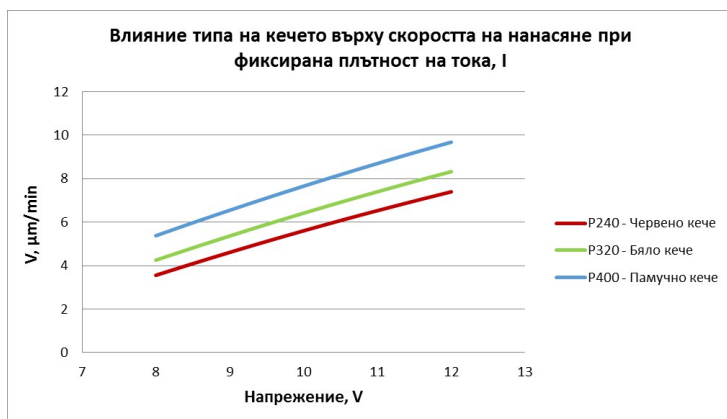


(в)

Фигура (18) 3D диаграма на регресионната функция за изменение на скоростта на нанасяне при изменение на плътността на тока и напрежението за покритие от кобалт код 5200 и при фиксиран тип обшивка на електрода: а) Р240 - Червено кече; б) Р320 - Червено кече; в) Р400 - Червено кече.



Фигура (19) Сечение на 3D диаграмите за скорост на нанасяне, при напрежение $U=12V$, показващи влиянието на типа кече върху повърхностната микротвърдост на покритие кобалт 5200.



Фигура (20) Сечение на 3D диаграмите за скорост на нанасяне, при плътност на тока $CD=1.55A/cm^2$, показващи влиянието на типа кече върху повърхностната микротвърдост на покритие кобалт 5200.

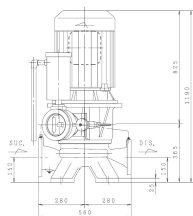
получени за ремонт във фирма "Plazma LTD". След направената дефектация беше установено че основния дефектирал елемент, на помпите, са валове. Съгласно документацията на помпите беше установено, че вала на помпа CRTE 16 е изработен от титаниева сплав Ti-6Al-4V, а вала на помпа EMCSN-125MB е изработен от стомана AISI 316L.

За отремонтване на валове от помпите, беше проведено ло-

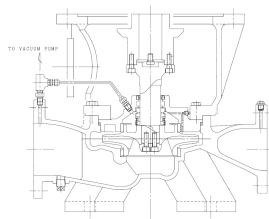
кално възстановяване на износените участъци, по предварително разработени технологии, чрез метода "Brush-plating".

5.1 Помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO., LTD. EMCSN-125MB

TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB е едностъпална, вертикална, центробежна помпа с корпусна спирала и единичен поток на преминаващата течност. Този тип помпи са предназначени за работа в агресивни среди: морска вода, отпадъчни води, масла, химически и нефтохимически продукти и др. Общият вид на помпата с габаритни размери и детайлен разрез могат да се видят на фиг.21а и фиг.21б, а техническите характеристики са представени в табл.12. Съгласно инструкцията за експлоатация този вид помпи задължително се разглобяват и дефектират веднъж на четири години или 20000 работни часа.



(а)



(б)

Фигура (21) Принципна схема на центробежна помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB: а) Общ вид; б) Напречен разрез

Дебит	$Q_{max} = 72m^3/h$
Напор	$H_{max} = 80m$
Температура на флуида	$T_F \rightarrow -20 + 90^\circ C$
Допустимо работно налягане	$P_{max} = 7.5bar$
Мощност на електродвигателя (номинална)	$P_e = 34.5kW$

Таблица (12) Технически характеристики на центробежна помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB

5.1.1 Дефектация

При разглобяване на помпа EMCSN-125MB бяха установени надире и износване на вала в областта на механичното уплътнение, довели до по-голямо от допустимото изменение на геометричната му форма. Техническите изисквания към вала на помпа EMCSN-125MB са представени в табличен вид - табл.13.

Дълбочината на надирите е установена с използване на копиращ дефекта пластир на фирма Sifco ASC. Измерванията показват, че най-голямата им установена дълбочина е 0,23mm. Установяването на възникнали пукнатини по вала на помпата е осъществено с използване на визуална дефектоскопия с цветен пенетрант на фирма Diffu-therm. Пукнатини по вала на помпата не бяха констатирани.

Отклоненията от геометричната форма на деформирания участък на фиг.22 е определен чрез стандартно микрометриране на вала в три сечения в две взаимно перпендикулярни равнини, като получените резултати от измерванията са представени в табл.14

Сплав	AISI 316L
Дължина на детайла	195mm
Номинален диаметър	$50.0^{0.00}_{-0.016}mm$
Допустима овалност	0.06mm
Допустима конусообразност	0.04mm
Твърдост на повърхностния слой	220 HV0.2/10
Допустима грапавост R_a	0.5 μ m

Таблица (13) Технически изисквания към вала на помпа TAİKO KİKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB

Участък	Сечение	Хоризонтално направление, мм	Вертикално направление, мм	Овалност, мм
Плъзгащ лагер	1	49.85	49.81	0.13
	2	49.91	49.87	
	3	49.79	49.78	
Конусообразност, мм		0.12	0.09	

Таблица (14) Резултати от техническите измервания на вала на помпа TAİKO KİKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB

5.1.2 Адаптиране на процеса Brush-plating за възстановяване на вал от помпа EMCSN-125MB

С цел премахване а ексцентричността на дефектирания участък на валът от помпа EMCSN-125MB беше проведена машинна обработка. Участъкът подлежащ на възстановяване беше почистен и обезмаслен, след което се притъпа към подготовката му за възстановяване по метода „Brush-plating”.

За адаптирането на процеса Brush-plating, за ремонтно възстановяване на вал от помпа EMCSN-125MB, бяха използвани предварително проведените експерименти, описани в Глава 3 на настоящия труд.

Дебелините на слоевете бяха избрани както следва:

- Подслой Ni код 2080/5600 - $1\mu\text{m}$
- Подслой Cu код 5280 - $210\mu\text{m}$
- Повърхностен защитен слой Co код 5200 - $19\mu\text{m}$

За достигане на необходимата дебелина на подслоевите и покритието бяха пресметнати нужните амперчасове (А/Н) по формула2:

$$AMP.HR = F * A * T \quad (2)$$

Където:

- F - фактор на разтвора
- A - възстановявана площ cm^2 (формула 3)
- T - желана дебелина на подслой или слой в μm

$$A = 3,14 * D * L \quad (3)$$

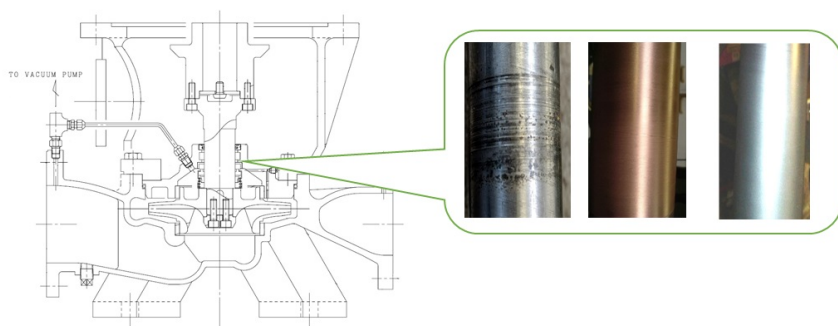
Където:

- D - диаметър на възстановявания участък
- L - дължина на възстановявания участък

Тъй като не бяха поставени конкретни изисквания за повърхностната микротвърдост на възстановения участък от вала на помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB, беше измерена микротвърдостта на самия вал в зона без дефекти. Беше установено, че валът има средна микротвърдост 215.5HV0.2/10 (табл.16), от което следва, че той няма повърхностно твърдо хромиране и изискванията за висока микротвърдост на покритието отпадат. С оглед на това, защитно-декоративния слой кобалт да има близка твърдостна характеристика до тази на основния материал и на база проведените предварителни експерименти, повърхностния слой беше нанесен при следните параметри: Напрежение - 7V; Обшивка на електрода - бял памучен бинт.

Режимите на предварителна подготовка, нанасяне на подслоевете и защитния слой кобалт, избрани за възстановяване на вал на помпа EMCSN-125MB са дадени в табл.15

Повърхността на вала подлежаща на ремонт е изолирана с помощта на специално алуминиево и бяло тиксо на фирмата 3M Scotch-Brite® така, че да няма въздушни мехурчета в маскираната област, в които да влезе разтвор.



Фигура (22) Технологична процедура по възстановяване на вал от помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB както следва: а) дефектирал участък от вал, б) вал с нанесен подслой Мед код 5280, в) вал с нанесено защитно декоративно покритие Кобалт код 5200.

Стъпка	Операция	Материал	Напрежение, V	Полярност	Дебелина на покритието А/Н	Визуална инспекция и коментари
1	Електропочистване	Електро-клийн Номер 1010/4100	11	Прав	0.1460	Да няма капки след последващото промиване.
2	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
3	Предварително омокряне и ецване	№4 Ецващ и активиращ разтвор Номер 1024/4250	8.5	Обратна	0.0942	Еднородна светлосива полирана повърхност. Предварителното омокряне подобрява еднородността на ецнатата повърхност.
4	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
5	Предварително омокряне и Активиране	№1 Активатор Код 1021/4200	13	Прав	0.1460	Не трябва да се наблюдава визуална промяна.
6	Без изплакване					
7	Нанасяне на под-слой Ni	Nickel Acid 2080/5600	9	Прав	0.0707	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се цвета на покритието да бъде светлосив, леко матов.
8	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
9	Нанасяне на под-слой Cu	Copper Heavy build 5280	6.5	Прав	11.8692	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за полуярък до ярък меден цвят.
10	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
11	Нанасяне на покритие Co	Cobalt 5200	7	Прав	1.1634	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за светлосиво млечно покритие.

Таблица (15) Технологична процедура при нанасяне на покритие Co, по метода Brush-plating, върху пилотен образец от стомана 316L.

Получените резултати за началната твърдост и изходната твърдост на покритието са описани в табл.16, а на фиг.22 е показан дефектния участък от вала преди ремонта, след нанасяне на под-слой мед и след нанасяне на финишен слой кобалт.

Твърдост, HV0.2/10	Място на измерване, °					
	0	60	120	180	240	300
Преди възста- новяване	213	215	214	218	220	213
Нанасяне на покритието	341	345	344	341	343	345

Таблица (16) Резултати от измерването на твърдост на вала на центробежна помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB

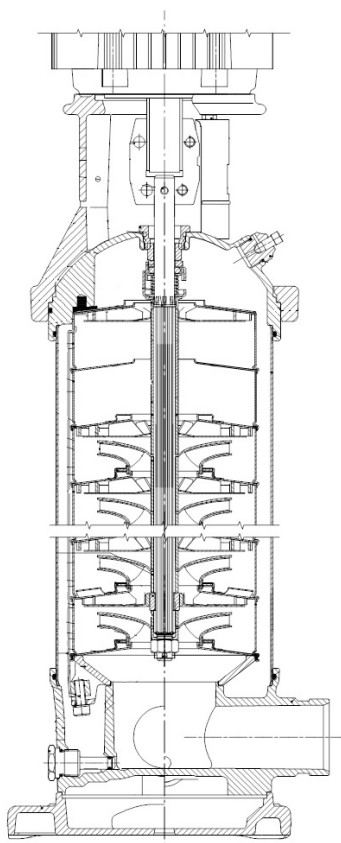
След проведените технологични операции по ремонта на вала, той беше монтиран на помпа TAIKO KIKAI INDUSTRIES CO.,LTD. EMCSN-125MB и тя беше въведена в експлоатация. Очаква се да бъдат получени резултати, по отношение моторесурса на възстановената по метода „Brush-plating”, шийка на тази помпа, най-рано след четири години.

5.2 Помпа Grundfos CRTE 16

Grundfos CRTE 16 е центробежна, многостъпална, вертикална, секционна помпа с едностранно втичане на течността. Този тип помпи е предназначен за транспортиране на морска вода и нефтопродукти. Смукателната и нагнетателната зона на помпата са насочени хоризонтално, перпендикулярно на оста на въртене. Общият вид на помпата е показан на фиг.23, а техническите характеристики са представени в табл.17. По технически данни на фирмата производител, тези помпи задължително се разглобяват и дефектират веднъж на три години.

Дебит	$Q_{max} = 20m^3/h$
Напор	$H_{max} = 208.6m$
Температура на флуида	$T_F \rightarrow -20 + 90^\circ C$
Допустимо работно налягане	$P_{max} = 25bar$
Мощност на електродвигателя (номинална)	$P_e = 15kW$

Таблица (17) Технически характеристики на центробежна помпа Grundfos CRTE 16



Фигура (23) Общ вид на центробежна помпа Grundfos CRTE.

5.2.1 Дефектация

При разглобяване на помпата, в участъците от цилиндричната част на вала, работещи в условията на плъзгащ контакт (в областта на механичното уплътнение) бяха установени надир и износване, довели до изменения на повърхността и на геометричната форма на вала, по-големи от допустимите - табл.19.

Дълбочината на надирите е установена с използване на копиращ дефекта пластир на фирма Sifco ASC. Измерванията показват, че най-голямата им установена дълбочина е 0,22mm. Установяването на възникналите пукнатини по вала на помпата е осъществено

но с използване на визуална дефектоскопия с цветен пенетрант на фирма Diffu-therm. Пукнатини по вала на помпата не бяха констатирани.

Отклоненията от геометрична форма в дефектирания участък са определени чрез стандартно микрометриране на вала в три сечения, в две взаимно перпендикулярни равнини, като получените резултати от измерванията са представени в табл.18

Сплав	Ti-6Al-4V
Дължина на детайла	564mm
Номинален диаметър	$16.0^{+0.00}_{-0.011} mm$
Допустима овалност	0.06mm
Допустима конусообразност	0.04mm
Твърдост на повърхностния слой	450HV0.2/10
Допустима грапавост R_a	$0.5\mu m$

Таблица (18) Технически изисквания към вала на помпа Grundfos CRTE 16

Участък	Сечение	Хоризонтално направление, мм	Вертикално направление, мм	Овалност, мм
Плъзгащ лагер	1	15.81	15.83	0.09
	2	15.87	15.78	
	3	15.89	15.85	
Конусообразност, мм		0.08	0.07	

Таблица (19) Резултати от техническите измервания на вала на помпа Grundfos CRT

5.2.2 Адаптиране на процеса Brush-plating за възстановяване на вал от помпа “Grundfos CRTE 16”

С цел премахване а ексцентричността на дефектирания участък на валът от помпа Grundfos CRTE 16 беше проведена машинна обработка. Участъкът подлежащ на възстановяване беше почистен и обезмаслен, след което се притъпа към подготовката му за възстановяване по метода „Brush-plating”.

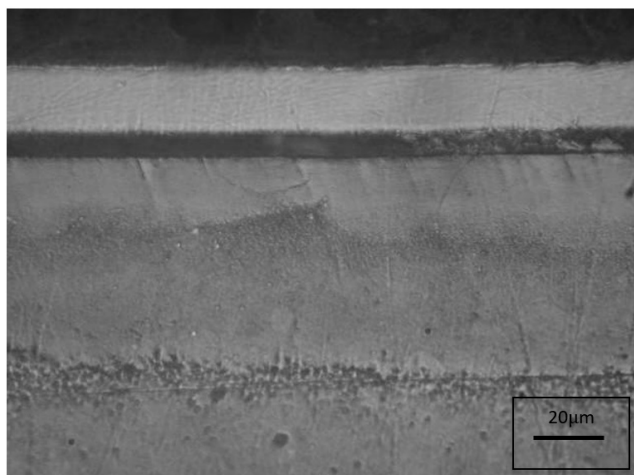
За адаптирането на процеса „Brush-plating” за ремонтно възстановяване на вал от помпа „Grundfos CRTE 16” бяха използвани

предварително проведените експерименти, описани в Глава 3 на настоящия труд.

Дебелините на слоевете бяха избрани както следва:

- Подслой Ni код 2080/5600 - $1\mu\text{m}$
- Подслой Cu код 5280 - $200\mu\text{m}$
- Повърхностен защитен слой Co код 5200 - $19\mu\text{m}$

За достигане на необходимата дебелина на подслоеве и покритието бяха пресметнати нужните амперчасове (А/Н) по формула 2, 3, описани в Глава **Глава5** .



Фигура (24) Микроструктура на покритие от Алкална мед код 5280 върху Ti-6Al-4V, с подслой Никел код 2080/5600.

За адаптиране на процеса Brush-plating бяха използвани пилотни образци с размери $10 \times 10 \times 1.1 \text{ mm}$ от сплав Ti-6Al-4V, който е идентичен с материала на вала на помпата. След нанасяне на подслоеве от Никел код 2080/5600 и Алкална мед код 5280 беше проведено микроструктурно изследване на плътността на нанесените подслоеве фиг. 24. На фигурата се вижда че плътността в обема на покритията е добра. Границите между покритията се различават добре и това дава основание да се определи връзката, като добра. Това даде основание технологията да

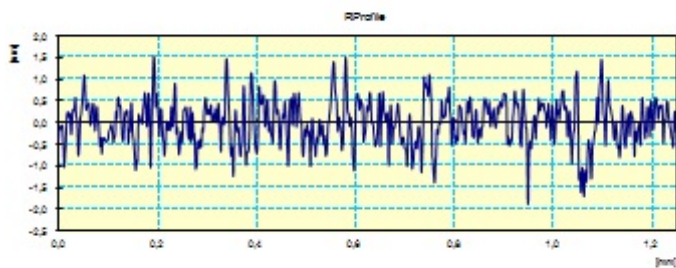
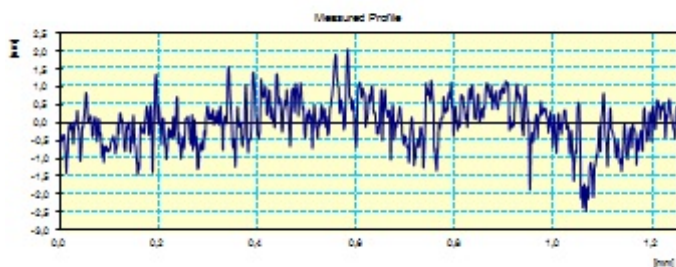
Стъпка	Операция	Материал	Напрежение, V	Полярност	Дебелина на покритието А/Н	Визуална инспекция и коментари
1	Електропочистване	Електроклийн Номер 1010/4100	11	Прав	0.0545	Да няма капки след последващото промиване.
2	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
3	Предварително омокряне и ецване	№3 Ецващ и активиращ разтвор Номер 4350	10.5	Обратна	0.0879	Еднородна светло сива полирана повърхност. Предварителното омокряне подобрява еднородността на ецнатата повърхност.
4	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
5	Предварително омокряне и Активиране	№1 Активатор Код 1021/4200	12	Прав	0.0545	Не трябва да се наблюдава визуална промяна.
6	Без изплакване					
7	Нанасяне на подслой Ni	Nickel Acid 2080/5600	9	Прав	0.0264	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се цвета на покритието да бъде светло сив, леко матов.
8	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
9	Нанасяне на подслой Cu	Copper Heavy build 5280	6.5	Прав	4.2202	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за полу-ярък до ярък меден цвят.
10	Промиване	Чиста дестилирана вода	---			
11	Нанасяне на покритие Co	Cobalt 5200	12	Прав	0.4343	Детайла предварително се омокря с разтвора. Следи се за светло-сиво, млечно покритие.

Таблица (20) Предварителна технологична процедура за нанасяне на покритие Co 5200, по метода Brush-plating, върху детайл от титаниева сплав Ti-6Al-4V.

бъде изпълнена за възстановяване на реалния детайл от помпа Grundfos CRTE 16.

Изискванията за повърхностна грапавост на детайлите от помпа

CERTIFICATE OF INSPECTION



Work Name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest S-301	Comment	Ver3.20
Standard	ISO 1997	N	S
Profile	R	Cut-Off	0.25 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Ra	0.40um	Rdc	0.00um
Ra1m	3.18um	Rmc	0.00um
Ra	2.84um	Rms	100%
Rq	0.50um	ROa	0.17
Rt	3.44um	Rsk	-0.12
Ro	1.41um	Rku	3.40
Rv	1.43um	ROq	0.22
RSm	25um	RLo	0.25mm
RPc	15um	RPl	99.2%
Rmrc	33.2um		
Rmrc	1.5%		
R3z	1.84um		

Copyright (C) 2011-2015 Mitutoyo Corporation

Фигура (25) Микрограпавост след полиране на защитно-декоративен слой кобалт на титаниев вал от помпа “Grundfos CRTE 16” .

Grundfos CRTE 16, поставени от фирмата производител са изключително високи. Това наложи замерване микрограпавостта на нанасения защитно-декоративен слой кобалт. Тя има стойности $Ra=0,89\mu m$, при изискуем максимум $0,50\mu m$, табл.18, което нала-

Твърдост, HV0.2/10	Място на измерване, °					
	0	60	120	180	240	300
Преди възста- новяване	444	439	431	425	427	435
Нанасяне на покритието	482	485	481	479	475	483

Таблица (21) Резултати от измерването на твърдост на вала на центробежна помпа "Grundfos CRTE 16"

га последваща обработка на нанесения слой с оглед намаляване на микрограпавостта.

Вала се поставя между два центъра и се полира с бяло кече. След полиране повърхностната микрограпавост е измерена и има стойности Ra-0,40µm, при допустима максимална грапавост Ra-0,50µm, което отговаря на изискванията фиг.25.

След операцията по полиране е измерена микротвърдостта на възстановения участък. Получената средна микротвърдост има стойност 481HV0,2/10 табл.21, което удовлетворява изискванията на производителя по каталог табл.18.

След проведените технологични операции по ремонта на помпата, вала беше монтиран на помпа Grundfos CRTE 16 и тя беше въведена в експлоатация. Очаква се да бъдат получени резултати, по отношение моторресурса на възстановената по метода „Brush-plating” шийка на тази помпа, най-рано след три години.

Основни изводи от дисертационния труд

- Химическият състав на основния метал - стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V, върху които се нанася повърхностен, защитно-декоративен слой по метода „Brush-plating”, не оказва влияние върху качествата на нанесеното покритие.
- Микрограпавостта на нанесеното покритие се влияе от плътността на тока, типа обвивка на електрода и дебелината на нанесения слой:
 - С повишаване плътността на тока повърхностната микрограпавост на нанесеното покритие се увеличава, в рамките на проведения експеримент, при плътност на тока $0.77\text{A}/\text{cm}^2$ повърхностната микрограпавост има стойности в порядъка на $Ra=0.73\mu\text{m}$.
 - Върху грапавостта влияе типа на обшивката на електрода, като минималните стойности за грапавост при различните видове обшивки на електрода са:
 - * P400 - Памучно кече - $Ra\ 0.63\mu\text{m}$
 - * P320 - Бяло кече - $Ra\ 0.85\mu\text{m}$
 - * P240 - Червено кече - $Ra\ 1.00\mu\text{m}$
 - С повишаване дебелината на покритието от $10\mu\text{m}$ до $14\mu\text{m}$ повърхностната микрограпавост на нанесения слой намаля достигайки оптимални стойности от $Ra\ 0.63\mu\text{m}$.
- Микротвърдостта на нанесения слой се влияе от технологичните параметри на режима и типа обшивки на електрода:
 - В изследвания диапазон от 8V до 12V, микротвърдостта на покритието се повишава, като тя достига максимални стойности, в изследвания диапазон, при напрежение 12V.

- Върху микротвърдстта влияе обшивката на електрода:
 - * P400 - Памучно кече - 423.3HV0.025
 - * P320 - Бяло кече - 486.3HV0.025
 - * P240 - Червено кече - 662.7HV0.025
- Скоростта на нанасяне на покритието по метода „Brush-plating”, се влияе от технологичните параметри на процеса:
 - При нарастване на напрежението от 8V до 12V, скоростта на нанасяне на покритието се увеличава, като тя достига оптимални стойности при напрежение 12V.
 - При нарастване на плътността на тока в границите от $0.77\text{A}/\text{cm}^2$ до $1.55\text{A}/\text{cm}^2$, скоростта на нанасяне на покритието се увеличава, като тя достига оптимални стойности при плътност на тока $1.55\text{A}/\text{cm}^2$.
 - Скоростта на нанасяне на покритието се влияе от типа обшивка на електрода, в рамките на проведения експеримент тя достига максимални стойности:
 - * P400 - Памучно кече - $9.7\mu\text{m}/\text{min}$
 - * P320 - Бяло кече - $8.3\mu\text{m}/\text{min}$
 - * P240 - Червено кече - $7.4\mu\text{m}/\text{min}$
- Получените регресионни зависимости могат да бъдат използвани за прогнозиране характеристиките, микрограпавост, микротвърдост и скорост на нанасяне, на покритие кобалт нанесено по метода „Brush-plating” върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V, в изследваните граници при дадени технологични параметри на нанасяне, напрежение, плътност на тока и тип обшивка на електрода.
- Получените регресионни зависимости могат да бъдат използвани за оптимизация на технологичните режими напрежение, плътност на тока и тип обшивка на електрода при метода „Brush-plating”, при нанасяне на покритие кобалт върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V.

- Предложена и реализирана е технология за възстановяване на детайл - вал от помпа EMCSN-125MB изработен от стомана 316L. Нанасянето на повърхностния слой Кобалт код 5200 е извършено при параметри: Напрежение - 7V, Обшивка на електрода - P450 - Бял памучен бинт.
- Предложена и реализирана е технология за възстановяване на детайл - вал от помпа Grundfos CRTE 16 изработен от титаниева сплав Ti-6Al-4V. Нанасянето на повърхностния слой Кобалт код 5200 е извършено при параметри: Напрежение - 12V, Обшивка на електрода - P320 - Бяло кече.
- Получените прогнозни данни от математическия модел и предварително направените моделни изпитания, се потвърждават при възстановяване на реални детайли.

Приноси на дисертационния труд

Дисертационния труд представлява завършен етап от теоретично - експериментално изследване на процеса Brush-plating при нанасяне на селективни покрития върху стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V. Приносите от разработената дисертационна работа могат да бъдат формулирани както следва:

- Научно-приложни приноси

- Потвърдено е и е експериментално доказано е, че химическия състав на основния метал, стомана 316L и титаниева сплав Ti-6Al-4V, не влияе върху качествата на нанесеното покритие по метода „Brush-plating”: микрограпавост, микротвърдос и скорост на нанасяне.
- Доказано е и е експериментално потвърдено, че микрограпавостта на нанесеното покритие по метода „Brush-plating”, се влияе от плътността на тока и типа обшивка на електрода.
- Доказано е и е експериментално потвърдено че микротвърдостта на нанесения слой по метода „Brush-plating”, се влияе от напрежението и типа обшивка на електрода, в диапазона на проведения експеримент от 8V до 12V и при обшивка на електрода от P400 - Памучна марля до P240 - Червено кече, повърхностната микротвърдост нараства.
- Доказано е експериментално, че скоростта на нанасяне на повърхностния слой кобалт по метода „Brush-plating”, се влияе от технологичните параметри на процеса, напрежение, плътност на тока и тип обшивка на електрода.

- Разработен е математически модел за анализ и прогнозиране на получените резултати (микрограпавост, микротвърдост и скорост на нанасяне) при нанасяне на покритие кобалт по метода „Brush-plating”.
- Приложни приноси
 - Разработена е и е приложена методика за нанасяне на покритие от Кобалт код 5200, върху детайл вал от помпа EMSCN 125MB изработен от стомана 316L.
 - Разработена е и е приложена методика за нанасяне на покритие от кобалт код 5200, върху детайл вал от помпа Grundfos CRTE 16 от титаниева сплав Ti-6Al-4V.
 - Разработения математически модел дава възможност да бъдат избрани съответни технологични режими, напрежение на тока, плътност на тока и тип обшивка на електрода, с цел получаване на зададени характеристики на нанесеното покритие по метода „Brush-plating”, микрограпавост, микротвърдост и скорост на нанасяне в диапазона на валидност на проведения математически анализ.

Публикации, свързани с темата на дисертационния труд

- 1 Георги Томов, Момчил Манов, Христо Скулев, Използване на селективни покрития при ремонтно-възстановителни работи на помпа “Grundfos CRT”, Списание инж. Наука 2016.
- 2 Georgi Tomov, Surface modification of details in ship machines and mechanisms by means of Brush-plating – Review, Black Sea 2016
- 3 Георги Томов, Момчил Манов, Христо Скулев, Изследване морфологията на защитни покрития нанесени върху синтеровани материали с приложение в корабостроенето, Пета национална конференция с международно участие, Металознание, Хидро- и аеродинамика, национална сигурност, София, 2015, ISSN 1313- 8308.
- 4 Георги Томов, Момчил Манов, Христо Скулев, Приложение на Brush-plating в кораборемонта. Направление 5.5 транспорт корабоплаване и авиация, Пета национална конференция с международно участие, Металознание, Хидро- и аеродинамика, национална сигурност, София, 2015, ISSN 1313- 8308.
- 5 Плазмено рязане на алуминиеви сплави, Издание Транспорт, технология, устойчиво развитие, ЕКО ВАРНА 2014, ТУ-Варна, Пл. Дичев, Г. Томов, Н. Кралев.

DISSERTATION TITLE:
**"EXAMINING THE REPAIR PROCESS OF DETAILS FROM SHIP
MACHINES BY SELECTIVE PLATING"**
AUTHOR:eng. Georgi Tomov
ANNOTATION

The dissertation examines and analyzes the application of process "*Brush – plating*" in repair process of details from ship machines and mechanisms.

The analysis in Chapter 1 focuses on different types of metals involved in marine industry, the possibilities for surface modification and reconditioning of worn out parts. Main tasks and objectives have been set.

In Chapter 2 has been made an overview of the most common methods for examining structural and mechanical properties of selective coatings.

In Chapter 3 focuses on examination the influence of technological parameters upon the properties of selective coatings, applied by means of

"*Brush – plating*" technologie, on stainless steel 316L and titanium alloy Ti-6Al-4V.

Chapter 4 represents a proposal for mathematical analysis, by means of regression analysis for the process "*Brush – plating*" for application cobalt coating.

Chapter 5 focuses on effective practical implementation of "*Brush – plating*" process, for reconditioning details from ship pump systems.